

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra energetiky

Návrh úprav parního kotle 125 t/h v Teplárně Přerov

Propose Modifications to the Boiler 125 t/h in the
Teplárna Přerov

Student:

Bc. Tomáš Nitsche

Vedoucí diplomové práce:

doc. Dr. Ing. Bohumír Čech

Ostrava 2015

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra energetiky

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Tomáš Nitsche**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2302T006 Energetické stroje a zařízení
Téma: **Návrh úprav parního kotle 125 t/h v Teplárně Přerov**
Propose Modifications to the Boiler 125 t/h in the Teplárna Přerov

Zásady pro vypracování:

Vypracujte návrh úprav parního kotle K1 o jmenovitém výkonu 125 t/h páry v Teplárně Přerov pro zlepšení spalovacího procesu a snížení emisí kotle.

Diplomová práce bude obsahovat: Popis mlecích zařízení pro černá energetická uhlí; Základní bilanční výpočty mlýnského okruhu s mezibunkrováním uhelného prášku; Výsledky měření na mlecím zařízení; Návrh úprav mlecího zařízení pro dosažení jmenovitých parametrů a zlepšení bezpečnosti provozu mlýnského okruhu.

Grafická část práce bude obsahovat: Schéma mlýnského okruhu kotle K1; Výkresovou dokumentaci kotle K1; Výkresovou dokumentaci úprav mlýnského okruhu.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] Černý, V. a kol. Parní kotle a spalovací zařízení, SNTL Praha 1975.
- [2] Kolat, P. Přenos tepla a hmoty, skripta VŠB Ostrava 1987.
- [3] ON 074017 Tepelný výpočet parních kotlů.
- [4] Dlouhý, T. Výpočty kotlů a spalínových výměníků, skripta ČVUT Praha 2005.
- [5] Podklady a materiály katedry energetiky pro Teplárnu Přerov.


Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **doc. Dr. Ing. Bohumír Čech**

Datum zadání: 13.12.2014

Datum odevzdání: 18.05.2015




prof. Ing. Dagmar Juchelková, Ph.D.
vedoucí katedry


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Prohlašuji, že

- jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu,
- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo,
- беру на ве́доміі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3),
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé diplomové práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO,
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona,
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- беру на ве́доміі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě :

18.5.2015

Plné jméno diplomanta:

Tomáš Nitsche

Adresa trvalého pobytu diplomanta:

Zelená 28, Ostrava 1

Podpis :



ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

NITSCHÉ, T. Návrh úprav parního kotle 125 t/h v Teplárně Přerov – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra Energetiky, 2015, 62 s. Vedoucí práce: doc. Dr. Ing. Bohumír Čech

Diplomová práce se zabývá úpravou mlýnského okruhu na kotli K1 v teplárně Přerov. V teoretické části jsou popsány možnosti úpravy surového uhlí na uhelný prášek. Výpočtová část obsahuje stechiometrické výpočty, bilanci mlýnského okruhu a výpočet účinnosti parního kotle. Praktická část obsahuje měření na mlýnském okruhu, které bylo prováděno v teplárně Přerov. Z výsledků měření a výpočtů byla navržena bezpečnostní úprava na mlýnském okruhu.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

NITSCHÉ, T. Propose Modifications to the Boiler 125 t/h in the Teplárna Přerov – Technical University of Ostrava, Faculty of Engineering, Department of Energy, 68 p. Thesis supervisor doc. Dr. Ing. Bohumír Čech

The topic of this thesis are the modifications of the mill circuit in the boiler 125 t/h in Teplárna Přerov. Possible ways of converting raw coal into coal dust are described in the theoretical part. The calculating part consists of stoichiometric calculations, balance of the mill circuit and the calculation of the efficiency of the boiler. The practical part contains the measurements of the mill circuit, which was conducted in Teplárna Přerov. Security modification of the mill circuit was then designed based on the results of the calculations and measurements.

OBSAH

1. ÚVOD	11
2. ÚPRAVA SUROVÉHO UHLÍ	12
2.1 Jemnost mletí	13
2.2 Druhy mlýnských okruhů	13
2.2.1 Mlýnský okruh s přímým foukáním	13
2.2.2 Mlýnský okruh s mezibunkrováním	14
2.3 Mlecí zařízení	16
2.3.1 Trubnatý mlýn	17
2.3.2 Tlukadlový mlýn	17
2.3.3 Ventilátorový mlýn	18
2.3.4 Kroužkový mlýn	19
2.3.5 Kladkový mlýn	20
2.4 Mlýnský okruh K1 v teplárně Přerov	20
2.4.1 Technické charakteristiky a podmínky provozu	20
2.4.2 Trubnatý mlýn	23
2.4.3 Talířový podavač	24
2.4.4 Třídič	25
2.4.5 Mechanický odlučovač – cyklon	27
2.4.6 Turniketový uzávěr	28
2.4.7 Šnekový dopravník	28
2.4.8 Mlýnský (brýdový) ventilátor	29
2.4.9 Zásobník surového paliva	30
2.4.10 Zásobník prášku	30
2.4.11 Protivýbušný systém	31
3. POPIS KOTLE K1	32
3.1 Parametry kotle K1	32
3.2 Charakteristika kotle	32
4. STECHIOMETRICKÉ VÝPOČTY	34
4.1 Prvkový rozbor paliva	35
4.2 Teoretický objem kyslíku potřebný pro dokonalé spálení 1 kg paliva	35
4.3 Objem suchého vzduchu potřebného pro dokonalé spálení 1kg paliva	36
4.4 Objem vodní páry připadající na 1 m ³ _N suchého vzduchu	36

4.5	Poměrné zvětšení objemu suchého vzduchu o objem vodní páry.....	37
4.6	Objem vlhkého vzduchu potřebného pro dokonalé spálení 1kg paliva	37
4.7	Objem vzduchu skutečného suchého s uvažováním přebytku vzduchu $\alpha=1,25$..	37
4.8	Objem vzduchu skutečného vlhkého	38
4.9	Objem suchých spalin	38
4.10	Objem suchých skutečných spalin	39
4.11	Objem vlhkých spalin	39
4.12	Procentuální zastoupení ve vlhkých spalinách CO_2	39
4.13	Procentuální zastoupení ve vlhkých spalinách H_2O	40
4.14	Procentuální zastoupení ve vlhkých spalinách SO_2	40
4.15	Procentuální zastoupení ve vlhkých spalinách O_2	40
4.16	Procentuální zastoupení ve vlhkých spalinách N_2	41
4.17	Procentuální zastoupení ve vlhkých spalinách Ar	41
4.18	Procentuální zastoupení v suchých spalinách CO_2	41
4.19	Procentuální zastoupení ve vlhkých spalinách SO_2	42
4.20	Procentuální zastoupení v suchých spalinách O_2	42
4.21	Procentuální zastoupení v suchých spalinách N_2	42
4.22	Procentuální zastoupení v suchých spalinách Ar	43
5.	ZTRÁTY KOTLE A TEPELNÁ ÚČINNOST	43
5.1	Ztráta hořlavinou v tuhých zbytcích – mechanickým nedopalem	43
5.2	Ztráta chemickým nedopalem	45
5.3	Ztráta citelným teplem spalin – komínová.....	45
5.4	Ztráta fyzickým teplem tuhých zbytků	46
5.5	Ztráta sdílením tepla do okolí	47
5.6	Tepelná účinnost kotle nepřímá metoda	48
5.7	Výrobní teplo páry a množství paliva	48
5.7.1	Výrobní teplo páry.....	48
5.7.2	Entalpie přehřáté páry a napájecí vody	49
5.7.3	Množství paliva	49
6.	BILANČNÍ VÝPOČET MLÝNSKÉHO OKRUHU	49
6.1	Vstupní a výstupní hodnoty pro výpočet	50
6.2	Výchozí rovnice tepelné bilance	50
6.3	Měrná tepelná kapacita spalin při vstupu do mlýna.....	51
6.4	Měrná tepelná kapacita uhlí na vstupu do mlýna.....	52

6.4.1	Měrná tepelná kapacita hořlaviny na vstupu	52
6.4.2	Měrná tepelná kapacita popeloviny na vstupu.....	52
6.5	Měrná tepelná kapacita uhlí na výstupu z mlýna	53
6.5.1	Měrná tepelná kapacita hořlaviny na výstupu.....	53
6.5.2	Měrná tepelná kapacita popeloviny na výstupu.....	53
6.5.3	Přepočet složení uhlí po vysušení	54
6.6	Citelné teplo uhlí na vstupu.....	55
6.7	Teplo vzniklé třením – nevyžitím měrné mlecí práce mlýna.....	55
6.8	Teplo potřebné na vysušení vody.....	55
6.9	Citelné teplo uhlí na výstupu ze mlýna	56
6.10	Citelné teplo sušícího média na vstupu (vztaženo na 1 kg paliva)	56
6.11	Citelné teplo nosného média na výstupu.....	57
6.12	Tepelná ztráta mlýna	57
6.13	Množství spalin potřebné k vysušení 1 kg paliva	58
6.14	Přepočet na objemový průtok spalin	58
6.15	Celkové množství sušícího media při jmenovitém výkonu kotle	59
6.16	Provedené výpočty pro různé teploty sušících spalin	59
7.	VÝSLEDKY MĚŘENÍ NA MLECÍM ZAŘÍZENÍ.....	60
7.1	Popis měřících míst	60
7.2	Naměřené hodnoty	60
7.3	Vyhodnocení výsledků.....	61
8.	NÁVRH ÚPRAV MLÝNSKÉHO OKRUHU	62
9.	ZÁVĚR	67
10.	LITERATURA.....	68
11.	PŘÍLOHY.....	68

Seznam značek

A_0	původní obsah popelovin	[1]
A_1	obsah popelovin v uhlí po vysušení	[1]
A^r	procento popela v palivu	[1]
c_a	měrná tepelná kapacita popeloviny	[1]
C_i	procento hořlaviny v uvažovaném druhu tuhých zbytků	[1]
c_u	měrná tepelná kapacita uhlí	$[kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$
$c_{vzd(90^\circ C)}$	měrná tepelná kapacita vzduchu	$[kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$
c_h	měrná tepelná kapacita hořlaviny	$[kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$
$I_s^{t_k, \alpha_k}$	entalpie spalín při teplotě spalín za kotlem	$[kJ \cdot kg^{-1}]$
$I_s^{t_{vz}, \alpha_k}$	entalpie spalín při teplotě vzduchu v kotelně	$[kJ \cdot kg^{-1}]$
i_{nn}	entalpie napájecí vody	$[kJ \cdot kg^{-1}]$
i_{pp}	entalpie přehřáté páry	$[kJ \cdot kg^{-1}]$
k_z	koefficient tepelné ztráty mlýna	$[kg \cdot kg^{-1}]$
l_w	výparné teplo vody	$[kJ \cdot kg^{-1}]$
m	hmotnostní průtok sušícího média	$[kg \cdot kg^{-1}]$
m_c	teoretické hodinové množství spalín pro sušení a mletí paliva	$[m^3 \cdot h^{-1}]$
M_{pp}	množství přehřáté páry	$[kg \cdot s^{-1}]$
p	tlak	[Pa]
P_{ml}	výkon mlýna	$[t \cdot h^{-1}]$
Q_{ci}	výhřevnost hořlaviny v uvažovaném druhu tuhých zbytků	[1]
q_m	teplo vzniklé třením – podíl mlecí práce přeměněné v teplo	$[kJ \cdot kg^{-1}]$
Q_p^p	teplo přivedené do kotle jedním kilogramem paliva	[1]
q_{s0}	citelné teplo spalín na vstupu do mlýna	$[kJ \cdot kg^{-1}]$
q_{s1}	citelné teplo spalín na výstupu z mlýna	$[kJ \cdot kg^{-1}]$
q_{u0}	citelné teplo surového uhlí na vstupu do mlýna	$[kJ \cdot kg^{-1}]$
q_{u1}	citelné teplo uhelného prášku na výstupu z mlýna	$[kJ \cdot kg^{-1}]$
Q_v	výrobní teplo páry	[kW]
Q_{vytj}	jmenovitý tepelný výkon	[MW]
q_w	teplo potřebné na vysušení vody	$[kJ \cdot kg^{-1}]$
q_z	tepelná ztráta mlýna	$[kJ \cdot kg^{-1}]$
r	Měrná plynová konstanta	$[J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$
t	teplota	$[^\circ C]$

T		[K]
V	objemový průtok sušícího média	$[m^3 \cdot kg^{-1}]$
V^{daf}	podíl prchavých složek	[1]
V_i	objem spalin – CO_2 , O_2 , SO_2 , N_2 , Ar	$[m_N^3 \cdot kg^{-1}]$
$V_{o2,t}$	teoretický objem kyslíku	$[m_N^3 \cdot kg^{-1}]$
$V_{sp,t}^s$	objem suchých spalin	$[m_N^3 \cdot kg^{-1}]$
$V_{vz,sk}^v$	objem vzduchu skutečného vlhkého	$[m_N^3 \cdot kg^{-1}]$
$V_{vz,t}^s$	objem teoretického suchého vzduchu	$[m_N^3 \cdot kg^{-1}]$
$V_{vz,t}^v$	objem vlhkého vzduchu potřebného pro dokonalé spálení 1kg paliva	$[m_N^3 \cdot kg^{-1}]$
V_{H_2O}	objem vodní páry připadající na 1 m_{3N} suchého vzduchu, objem vodní páry ve spalinách	[1], $[m_N^3 \cdot kg^{-1}]$
W_0	výpočtová vlhkost surového uhlí na vstupu do mlýna	[1]
W_1	požadovaná vlhkost uhlí po vysušení	[1]
X_i	procento popela zachycené v uvažovaném druhu tuhých zbytků	[1]
y_s	množství spalin potřebné pro vysušení 1 kg paliva	[1]
$Z_{c,h}$	ztráta hořlavinou	[1]
Z_{fp}	ztráta fyzickým teplem tuhých zbytků v popílku	[%]
Z_{fs}	ztráta fyzickým teplem tuhých zbytků v strusce	[%]
Z_k	ztráta citelným teplem spalin	[1]
Z_p	ztráta v popílku	[1]
Z_s	ztráta ve strusce	[1]
Z_{sv}	ztráta sdílením do okolí	[1]
Z_u	ztráta v úletu	[1]
α	součinitel přebytku vzduchu	[1]
γ	součinitel zvětšení objemu vlivem vlhkosti	[1]
η_k	tepelná účinnost kotle	[1]

1. ÚVOD

Výroba energie z fosilních paliv zůstává nadále důležitou součástí uspokojování potřeb průmyslu a domácností. Proto je nutné využívat veškeré dostupné metody k dosažení co nejefektivnějších a ekologicky co nejméně zatěžujících procesů. Příprava paliva pro spalování patří mezi velmi důležité operace, které ovlivňují celý průběh spalovacího procesu včetně tvorby emisí. Jemnost mletí uhlénoho prášku ovlivňuje obsah spalitelných látek v popílku a strusce, má vliv na tvorbu emisí CO a na emise NO_x ve vazbě na přebytek spalovacího vzduchu.

Spalování uhlénoho prášku a obsah spalitelných látek v popílku a strusce ovlivňují účinnost spalovacího zařízení. Mletí a sušení surového paliva nám zároveň umožňuje spalovat druhy paliva, které by ve své surové formě nebyla téměř nebo vůbec spalitelná. Další zásadní vliv na průběh spalování a stability hoření má kontinuita podávání paliva- uhlénoho prášku do spalovací komory kotle. Přípravě uhlénoho prášku a jeho rovnoměrnému podávání do ohniště je třeba věnovat náležitou pozornost.

Další hledisko pro provoz mlýnského okruhu je jeho bezpečnost. Norma ČSN EN 12952-9 určuje že "Ovzduší se pro účely ochrany proti výbuchu považuje za inertní, jestliže nelze zapálit směs práškového paliva a vzduchu." [7]. Norma dále udává povolenou koncentraci O₂ v sušicím mediu. Dovolená koncentrace v podmínkách vlhkosti je 12% O₂ ve vlhkých spalínách u černého uhlí. Tato podmínka je důležitá z hlediska mé diplomové práce, která se zabývá úpravou mlýnského okruhu. Zadáním mé diplomové práce je návrh úpravy mlýnského okruhu na kotli K1 v teplárně Přerov. V tomto kotli se spaluje černé uhlí v podobě uhlénoho prášku.

Práce je rozdělena na dvě části – teoretickou, výpočetní a praktickou. V teoretické části jsou popsány možnosti úpravy surového uhlí na uhléno prášek, dále je stanoveno stechiometrické množství spalín a vzduchu a vypočtena teoretická účinnost kotle. Pro dané parametry je pak vypočtena tepelná bilance mlýnského okruhu. V praktické části bylo provedeno měření na mlýnském okruhu a závěry z tohoto měření jsou obsaženy ve druhé části diplomové práce. Z výsledků výpočtů a měření byl proveden návrh úpravy mlýnského okruhu.

2. ÚPRAVA SUROVÉHO UHLÍ

Hlavní parametry, které se mění při úpravě surového uhlí, jsou změna velikosti jednotlivých částic a snižování množství vody, které je v uhlí obsažené. Zmenšování velikosti surového uhlí má za následek několikanásobné zvětšení jeho měrného povrch. Tato změna ovlivní rychlost a intenzitu spalování čímž dochází k lepšímu průběhu spalování a vyhoření částic paliva. Snižováním obsahu vody zkvalitňujeme výsledné palivo, jeho výhřevnost. Mletí a sušení paliva umožňuje spalování i méněhodnotných paliv, která by bez této úpravy nebyla spalitelná. Nevýhoda při přípravě uhelného prášku, je dána závislosti jemnosti vystupujícího prášku na potřebě mlecí práce. Proto je pro jemnější mletí uhelného prášku potřeba větší mlecí práce, jinými slovy se jedná o proces energeticky velmi náročný.[4]

Příprava uhelného prášku probíhá v drtivé většině přímo v místě užití. Skladování a transport uhelného prášku je z několika důvodů obtížný. Prášek se delším ležením znehodnocuje, zahřívá nebo i vzněcuje, leží-li volně na vzduchu (jako uhlí na haldách), vyvíjí otravné plyny, které mohou způsobit otravu obsluhovateli; plyny ve směsi se vzduchem, právě tak jako směs uhelného prášku se vzduchem, jsou výbušné.

Úprava surového uhlí, jak bylo zmíněno, probíhá v mlecím zařízení, obvykle za současného sušení vhodným sušícím médiem. Sušícím médiem mohou být spaliny, které jsou zpravidla odebíraný z koncových částí spalovací komory, nebo ohřátý sušící vzduch. Pro každé palivo o určité vlhkosti v kombinaci s mlecím zařízením je vhodné odlišné sušící medium. Z hlediska bezpečnosti, nesmí být překročena bezpečná teplota za třídičem, ale zároveň nesmí být teplota podkročena z důvodu kondenzace spalin.

Typ MO	Palivo	Sušící	Teplota t_1 [°C]
Mlýnicové topení	černé uhlí		130
	hnědé uhlí		100
	rašelina		80
Ventilátorový mlýn	hnědé uhlí, lignit	spaliny	160
Tlukadlový mlýn	hnědé, černé uhlí, lignit	vzduch	90
Spalování antracitu a poloantracitu			neomezeno
Zásobník prášku	$W > 30\%$	spaliny	120
	$W < 30\%$	spaliny	100
	černé uhlí	vzduch	100 – 120
	hnědé uhlí	vzduch	70

tab. 2.1 - Nejvyšší dovolené teploty sušícího média za mlýnem [4]

2.1 Jemnost mletí

Jemnost mletí je jedním z rozhodujících parametrů pro posuzování stavu mlýnů a mlecích zařízení. Hodnotí se vysušený uhelný prášek odebraný ze zásobníků uhleného prášku, případně izokineticky odebraný vzorek z proudící vzdušiny. V kotlářské praxi se ustálilo posuzování na sítích s oky (okatostí) 90 μm . Základním kritériem je zbytek na sítu udávaný ve hmotnostních procentech. Podle praktických zkušeností získaných vývojem kotlů v minulosti by zbytek na sítu 90 μm měl být roven obsahu prchavé hořlaviny v palivu. Pro proplástky a černá uhlí se obsah prchavé hořlaviny pohybuje pro naše a polská uhlí kolem 25 až 30%. Z podkladů získaných v Teplárně Přerov se zbytek na sítu 90 μm pro uhelný prášek kotle K1 pohybuje kolem 25%. Tato hodnota je přiměřená typu spalovaného paliva. To znamená, že třídič mlecího okruhu je správně seřízen a mletí není ani hrubé, ani zbytečně jemné. Dalším ukazatelem jemnosti mletí je zbytek na sítu 200 μm a pro hnědá uhlí ještě 500 μm . Zbytek na sítu 200 μm vypovídá o funkci třídiče a o jeho technickém stavu. Pokud se v uhelném prášku objeví na sítu 200 μm více než 1% zbytku, tak je třeba zkontrolovat třídič a jeho funkci. Pro hnědá paliva je možno připustit vyšší hodnoty zbytku na sítu pro hrubší zrna, protože z důvodu vyššího obsahu prchavé hořlaviny prohoří i větší zrna. Naopak antracitická paliva je nutno mlít velmi jemně, případně zvolit vhodnou spalovací technologii.

V současné době s ohledem na snižování emisí NO_x je patrný požadavek na jemnější mletí, které umožňuje spalovací proces s nižším přebytkem vzduchu a dosažení shodného nedopalu i při nižším přebytku vzduchu. [5]

2.2 Druhy mlýnských okruhů

Z hlediska uspořádání mlýnských okruhů se využívají dva základní typy.

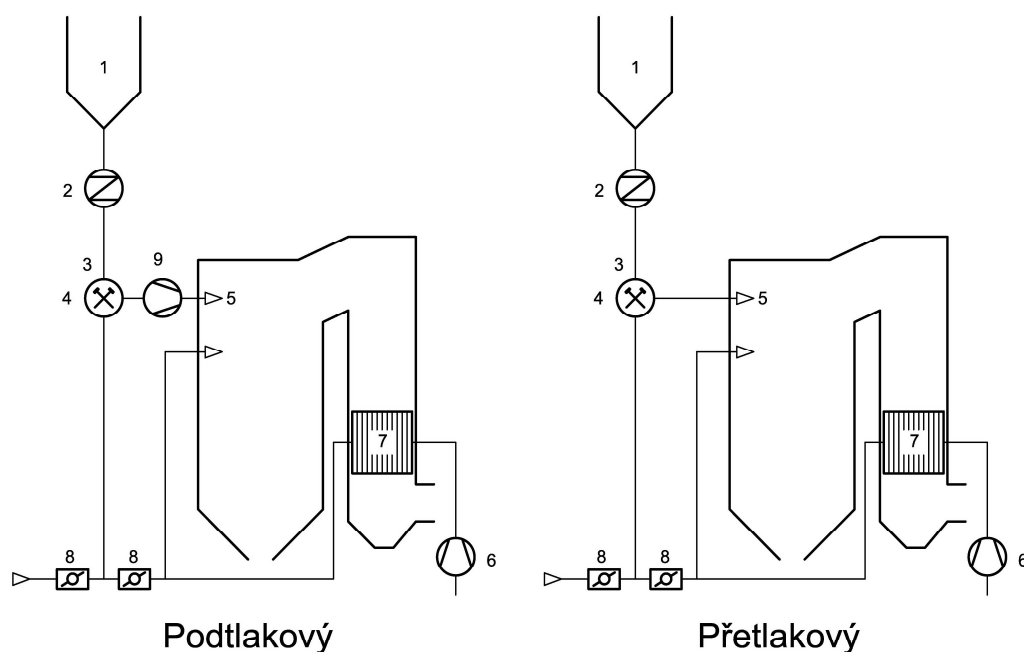
2.2.1 Mlýnský okruh s přímým foukáním

Jedná se o nejjednodušší typ mlýnského okruhu, kde mezi namletým uhelným práškem a ohništěm není žádný zásobník prášku a prášek je foukán přímo do ohniště. Z hlediska umístění ventilátoru se mlýnský okruh s přímým foukáním dělí na přetlakové a

podtlakové uspořádání. U přetlakového uspořádání dopravu vzduchu zajišťuje samostatný ventilátor sekundárního vzduchu, nebo se navíc používá ventilátor, který se umísťuje před sušku. Nevýhodou tohoto uspořádání je problematické utěsnění.

U podtlakového uspořádání se ventilátor, který je dispozičně umístěn za třídičem, stará o dopravu sušícího media. Ventilátor však velice často podléhá erozi.

Pokud dochází k částečnému zatížení, tak mlýnský okruh koná větší měrnou práci což lze považovat za jednu z největších nevýhod. Další nevýhoda je horší regulace, nehomogenní jakost prášku a při poruše zařízení dochází ke kolísání výkonu kotle. Jednoduchost, nízký obestavěný prostor a nižší investiční náklady však stále převládají před veškerými nedostatky. [1]



Obr. 2.1 – Schéma mlýnského okruhu s přímým foukáním

1- zásobník surového uhlí, 2 - podavač surového uhlí, 3 -suška, 4 -mlýn, 5 - hořáky, 6 - vzduchový ventilátor, 7 - ohřívák vzduchu, 8 - regulační klapka, 9 - brýdový (mlýnský) ventilátor

2.2.2 Mlýnský okruh s mezibunkrováním

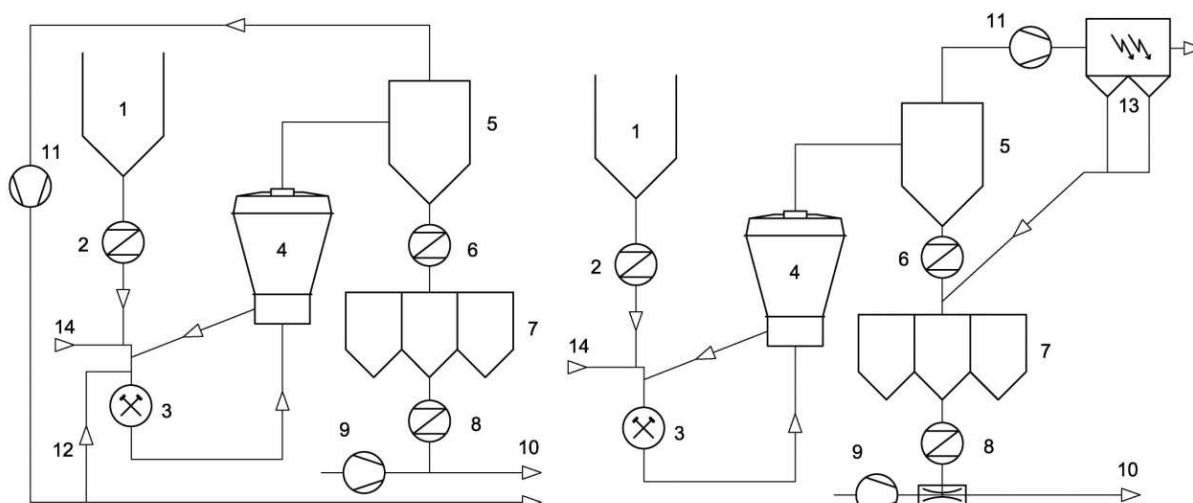
Tento okruh se dá srovnat s okruhem s přímým foukáním, rozdílem mezi těmito procesy je však to, že prášek, který odpovídá určité jemnosti, se nevede do ohniště, ale je

odlučován od nosného média v cyklonu a poté je uskladněn na určitou dobu v práškových zásobnících. Primární spalovací vzduch přenáší uhelný prášek do hořáků, kde se mísí v mísícím kusu, ejektoru, v množství odměřovaném práškovým podavačem. Vzduch, spaliny i jejich směsi jsou využívány k sušení. Typ mlecího okruhu může být otevřený, nebo uzavřený, dle toho, co se provádí se sušícím médiem, neboli brýdami. U otevřeného uspořádání, které se hodí pro mokrá paliva a sušení spalinami, obsahují brýdy velké množství vodní páry, a proto se odvádějí mlýnským ventilátorem do komína. Přitom je potřeba zajistit co největší odloučení uhelného prášku (nad 98 %), aby nevznikla velká ztráta mechanickým nedopalem v důsledku ztráty určitého množství uhelného prášku (dvoustupňové odlučování).

Uzavřený okruh může být řešen buď tak, že se brýdy zavádějí do zvláštních (brýdových) hořáků, nebo se brýd používá jako primárního nosného média k dopravě uhelného prášku do ohniště. Někdy se brýdy zčásti používají k temperování sušícího média pro okruh a zbytek se zavádí do brýdových hořáků.

Výhody mlecích okruhů s práškovými zásobníky plynou z toho, že mlecí okruh a kotel jsou z hlediska regulace dva na sobě nezávislé okruhy, takže je zde možnost přetržitého provozu mlecího okruhu a tedy větší provozní jistota. Zatímco u mlecího okruhu s přímým foukáním znamená výpadek nebo porucha i výpadek nebo snížení výkonu celého kotle, má mlecí okruh s práškovým zásobníkem zásobu prášku v rezervě. Přitom o regulovatelnosti výkonu kotle rozhodují jen dynamické vlastnosti práškových podavačů a práškovodů, jejichž časové konstanty a dopravní zpoždění jsou malé proti hodnotám u mlecích okruhů s přímým foukáním, u nichž jsou dynamické vlastnosti dány kapacitami podavače surového uhlí, sušky, mlýna, třídiče a práškovodu jako celku. Další předností je menší měrná mlecí práce, jelikož lze mlýny provozovat bez ohledu na výkon kotle při jejich optimálním výkonu.

Nedostatky mlecích okruhů s práškovým zásobníkem spočívají v poněkud větší komplikovanosti zařízení, větším obestavěném prostoru a vyšších investičních nákladech. [1]



Obr. 2.2 - Schéma mlecího okruhu s práškovým zásobníkem (s mezibunkrováním)

a– uzavřený, b - otevřený

1 – zásobník surového paliva, 2 – podavač surového uhlí, 3 - mlecí zařízení, 4 - třídič, 5 - cyklon, 6 - uzávěr, 7 - zásobník prášku, 8 - podavač, 9 - vzduchový ventilátor, 10 - hořáky, 11 - mlýnský ventilátor, 12 - recirkulace spalin, 13 - elektrostatický odlučovač, 14 - sušící medium

2.3 Mlecí zařízení

Podle základního pracovního principu mlýnů rozlišujeme:

1. Mlýny pracující na principu **statického tlaku** vyvozeného silou tíže mlecích elementů, pružinami nebo hydraulickým přtlakem. Zde patří mlýny kroužkové a kladkové.

2. Mlýny pracující na principu **úderu**:

- Úder je vyvozen volným pádem (šikmým vrhem) mlecího elementu na vrstvu uhlí (trubnatý mlýn).
- K úderu dochází při srážce rotujících mlecích elementů se zrny uhlí nesenými vzdušinou v mlecí skříni (tlukadlový a ventilátorový mlýn).
- Při nárazu uhelných zrn nesených proudem vzdušiny na kovovou desku (mlýny pneumatické). V energetice se nepoužívají.

3. Mlýny pracující na principu *rozpojování vnitřními silami* rozpínajících se par v ohřátém palivu proudícím z komory o vysokém tlaku do komory o nízkém tlaku. Tyto mlýny se rovněž v energetice nepoužívají.

2.3.1 Trubnatý mlýn

U trubnatých mlýnů se palivo mele pomocí mlecích elementů, kterými je naplněn mlecí buben. V tomto bubnu, který se otáčí, dochází k mletí vstupující suroviny (v případě mé diplomové práce se jedná o černé uhlí) jak dopadem mlecích elementů přímo na uhlí tak tlakem a otěrem při vrtivém valení mlecích elementů na povrchu i uvnitř vrstvy.

Tvar hladiny směsi uhlí a mlecích elementů i dráha jejich pádu závisí hlavně na otáčkách, poměrném zaplnění bubnu koulemi a uhlím, na sypném úhlu a na součiniteli tření při pohybu mlecích elementů po vnitřním povrchu bubnu, tj. na tvaru pancéřování (pancíř hladký, stupňový, vlnitý). [1]



Obr. 2.3 - Trubnatý mlýn na kotli K1 v teplárně Přerov

2.3.2 Tlukadlový mlýn

Tlukadlový mlýn pracuje na principu přímého kontaktu uhlí s kladivy mlýna, které vytvářejí dynamickou sílu při nárazu uhlí na pancíř mlecí skříně. Mlecí skříň se skládá především z vypancéřované mlecí komory, ta má tečný, nebo sečný vstup paliva a

osový, nebo tečný vstup média (nosného a sušícího). Rotor, který je tvořený vodorovným hřídelem má na nábojích s oky připevněny čepy, které na sobě nesou několik po sobě jdoucích řadách ramena s již zmíněnými tlukadly (obr. 4.2). Tlukadla o vzhladu silných obdélníkových desek či hranolů jsou vyrobeny z uhlíkových, nebo manganových ocelolitin. S rameny jsou spojeny pevně, nebo jsou výkyvné. Jakmile se tlukadla opotřebují, navažují se, nebo se vyměňují za nová. Výkonnost a životnost tlukadla závisí tedy na rychlosti úderu a také na obvodu rychlosti daných tlukadel. Obvodová rychlost $u < u_{\min}$ způsobuje, že tlukadlový mlýn prakticky nemele. Pozorujeme-li dezintegrační vnější síly, které se vyvolají potřebným nárazem na pancíř či tlukadlo pro rozpad zrna, vypočítáme z toho hodnotu u_{\min} . [1]



Obr. 2.4 - Výkyvná ramena s tlukadly

2.3.3 Ventilátorový mlýn

Ventilátorový mlýn je výhodný především pro mletí méně hodnotného uhlí, které obsahuje větší množství vody $W_0 > 35 \%$ (voda se nestihne vysušit při sušení horkým vzduchem a suší se spalinami při teplotách vyšších než $600\text{ }^{\circ}\text{C}$). Ventilátorový mlýn má dvě podstatné funkce. První je funkce mlýna, jako druhou funkci zastává práci mlýnského ventilátoru. Zařízení je jednoduché, nenáročné a má relativně nízké opotřebení mlecích elementů.

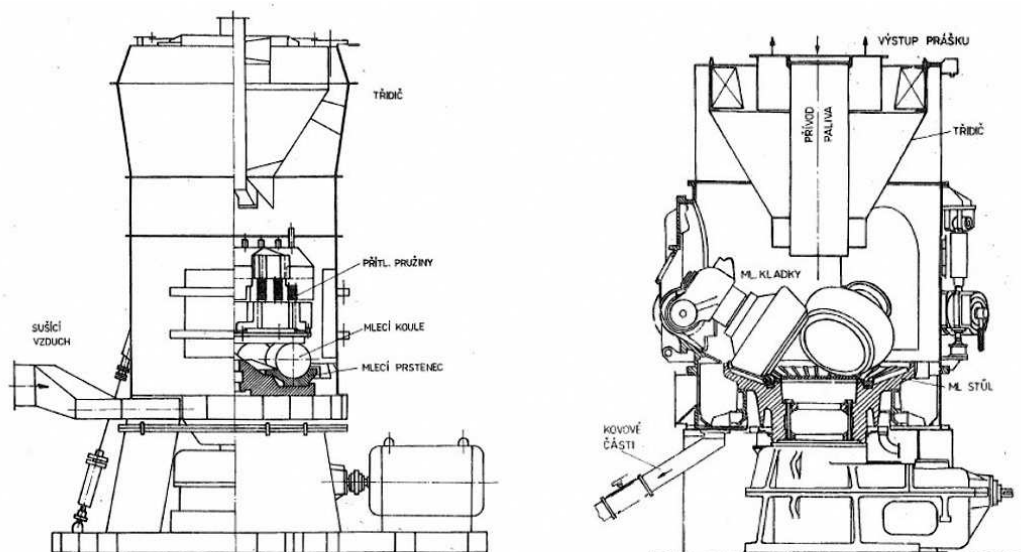
Nevýhodou je však to, že ventilátorový mlýn plní obě dvě funkce zároveň, tím je ovlivněna kvalita a výkon celého mlýnského ventilátoru. Obě funkce na sobě závisí

v průchodu hmoty a uhlí a spalin zároveň s požadovaným vysušením a jemností prášku, což způsobuje, že chceme-li například zvýšit mlecí výkon média, automaticky se sníží ventilační výkon a celkový vzrůst tlaku nosného média, tedy i zvýšení vlhkosti, pokles teploty brýd a zjemnění uhelného prášku. [1]

2.3.4 Kroužkový mlýn

Kroužkový mlýn je složen z vodorovného talíře, který se otáčí kolem své svislé osy. V kruhové drážce se otáčí 6 – 20 ocelových koulí, které mají průměr 180 až 300 mm, ty jsou neustále přitlačovány k talíři silou cca 2000 až 5000 N na každou kouli pomocí pružin a síly tíže přitlačného prstence. Koule a talíř dezintegrují palivo drcením a otíráním koulí o talíř. Odstředivá síla pak palivo přenese na okraj talíře, kde přepadne do nosného média. Nosné médium dále třídí jemný prášek a hrubší či větší kusy tak, že frakci prášku odnáší do třídiče, naopak větší kusy s větší hmotností propadají dolů.

Mezi skříní a talířem je mezera, díky které se měří rychlost nosného média, reguluje se postupným posouváním kuželovitého prstence. Tato rychlost dosahuje většinou $25 - 30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ za teploty $150 - 200 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Na spodní část mlýna je přiváděno nosné médium. Síla pružin musí být dostatečně regulovatelná, jelikož koule se velice rychle opotřebovávají. Koule se mohou rozpúlit, pokud nejsou všechny stejné velikosti, větší koule totiž přijímají celou přitlačnou sílu a deformují se. [1,6]



Obr. 2.5 - Kroužkový (vlevo) a kladkový mlýn [5]

2.3.5 Kladkový mlýn

Kladkové mlýny se liší v provedení a poloze talíře a kladek. Mohou být provozovány v tomto zařazení kde je použit rovinný talíř a kladky kuželové, talíř i kladky kuželové, rovinný talíř s drážkou a kladky soudkové a válcový talíř i kladky. Konstrukční řešení a celkové použití kladkového mlýna lze srovnat s mlýnem kroužkovým. Ocelolitinový talíř se vyrábí vodorovný a je obložen pancířem. Kladky s vyměnitelným pancířem se otáčejí na válečkových, nebo kluzných ložiscích. Promazávají se tlakovým olejem, vrtaným čepem kladky. Kladky jsou k talíři přitlačovány pomocí pružiny přes dvouramennou páku. Regulační šroub pomáhá díky stlačení pružiny regulovat přitlačnou sílu, nebo je možné regulovat sílu také hydraulicky. Stlačení se musí postupně seřizovat, jelikož dochází ke stálému opotřebovávání. Platí zde také stejné zásady jako u kroužkového mlýna ohledně třídění rychlosti nosného média v mezeře, teplotě sušícího média. Požadavky na pohyb paliva na jeho obvod nám určují minimální otáčky talíře. [1]

V české republice se kladkové mlýny v energetice nepoužívají.

2.4 Mlýnský okruh K1 v teplárně Přerov

V Teplárně Přerov jsou na kotlích trubnaté mlýny s mezibunkrováním uhelného prášku. Technologie mletí v trubnatém mlýnu a mezibunkrování byla vybrána v 50. letech pro mletí proplástek s výhřevností 13 až 17 MJ.kg⁻¹. V současné době již není proplástek s původní výhřevností na trhu s uhlím a mlýny zpracovávají uhlí s vyšší výhřevností. Výhodou mezibunkrování je dostatek paliva při změnách výkonů kotle i možnost překlenutí krátkodobých výpadků mlecích zařízení. Propojením mlecích zařízení vzniká možnost transportu uhelného prášku na sousední kotle. Regulace teploty směsi za třídičem mlýna se provádí recirkulací brýd do mlýnského okruhu.

2.4.1 Technické charakteristiky a podmínky provozu

Surové palivo se uskládá v zásobnících surového uhlí, do kterého je dopravováno pásovým dopravníkem zauhlovacího zařízení. Palivo dále padá přes tubus do talířového

podavače, kterým se dopravuje do mlecího okruhu. Regulace množství paliva se provádí nastavením výšky vrstvy paliva na talíři, nastavením výšky tubusu, případně natočením stírací klapky. Jemnějšího nastavení množství paliva se docílí změnou rychlosti otáčení talíře podavače, která se mění prostřednictvím frekvenčního měniče, který je nainstalován na podavači surového paliva.

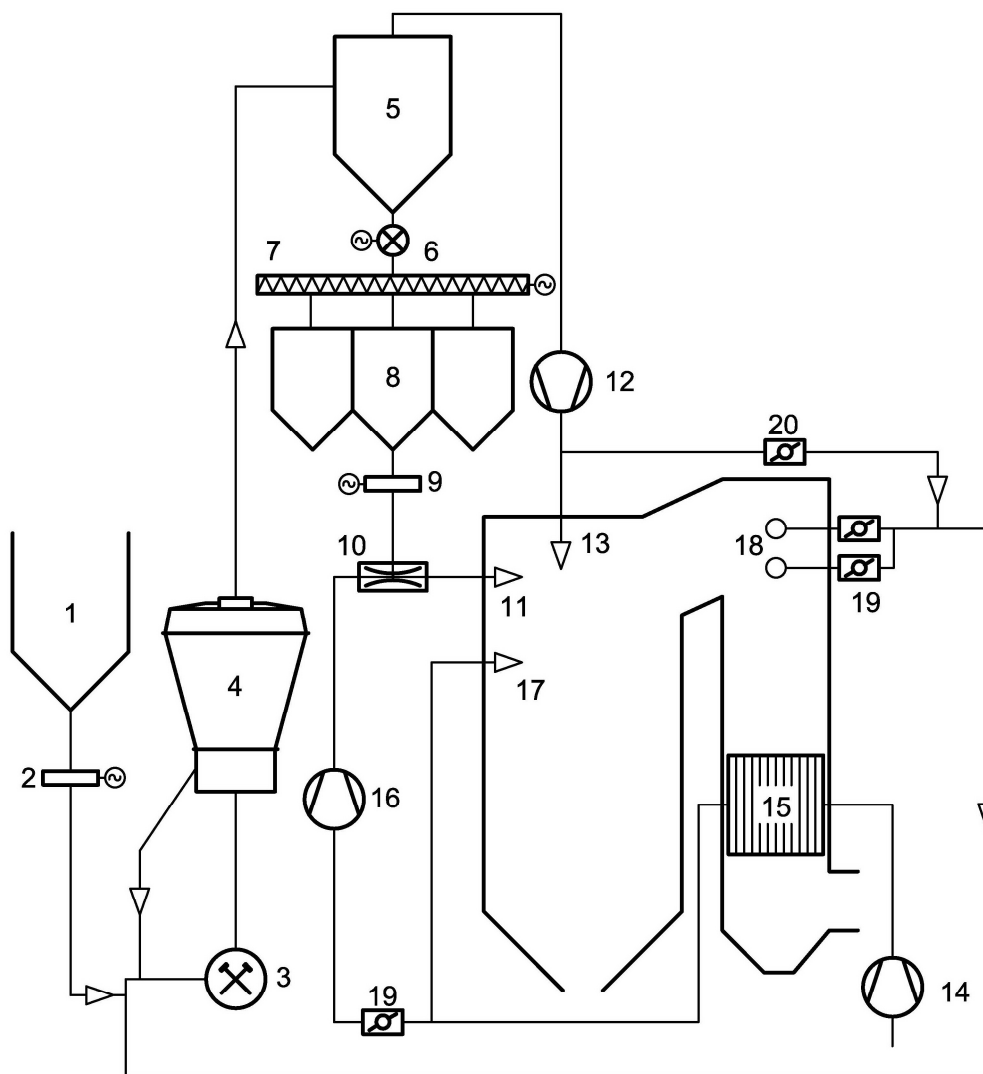
Společně se sušicím médiem, odebíraným z III. tahu kotle (kóta+ 19 m a teplota sušicích plynů + 340 °C), padá surové uhlí do trubnatého mlýna, kde se za současného vysoušení mele mlecími koulemi. Pro možnost zvýšení teploty sušicího média jsou u kotle dodatečně instalovány čtvercové potrubní kanály zavedené do prostoru kotle nad konvekčním přehřívákem (kóta + 22 m a teplota sušicích plynů až + 450 °C). Kanály jsou osazeny klapkou s ručním ovládáním. Potrubní kanály jsou vyvedeny do kolen původních odběrů sušicích spalin. Rozemleté palivo spolu se sušicím médiem je vynášeno do třídiče, kde se hrubší frakce odloučí a vrací se zpět do mlýna k dalšímu mletí a vysoušení. Jemnost rozemletého paliva, které prošlo třídičem je dána nastavením regulačních lopatek v třídiči, množstvím dopravního média procházejícího třídičem a zaplněním mlýna palivem.

Z třídiče je směs jemného prášku a sušicího média dopravována do druhého stupně mechanického odlučování - cyklonu, kde se oddělí převážná část prášku od nosné vzdušiny (brýd). Palivo vypadává z proudu dopravního média vlivem tangenciálního proudění do kónusů cyklonů a odtamtud do spodní části, ze které výstupním hrdlem a turniketovým uzávěrem prochází do potrubí, kterým je vedeno buď přímo do zásobníku příslušného kotle, nebo do šnekového dopravníku, který je dopraví na žádané místo. Ze zásobníku uhelného prášku je palivo vedeno do komůrkového podavače

Dopravní médium odchází z odlučovačů jako směs sušicího média, vodní páry, netěsnostmi nasátého vzduchu a nejjemnějšího neodloučeného prášku do brýdového ventilátoru. Brýdový ventilátor, který vytváří dopravní podmínky v mlecím okruhu, dopravuje tuto směs - brýdy - přes brýdové hořáky do kotle, kde se jejich nejjemnější obsah palivového prášku spaluje. Část brýd je recirkulačním potrubím zavedena zpět do mlýnského okruhu na vstup do mlýna, čímž je regulována teplota v mlýnském okruhu.

Proces sušení paliva probíhá současně při dopravním, mlecím a třídícím procesu, přičemž převážná část vlhkosti paliva se odebere z paliva ihned při jeho vstupu do sušicího média a pak při mletí ve mlýně a dopravě do odlučovače. Pro sušení se

používají spaliny, pro nahřívání nebo vychlazování mlýnu je použito recirkulace brýd. Množství a teplotu sušícího média lze upravovat vhodným nastavením regulačních klapek v mlecím okruhu.



obr č. 2.6 - Schéma mlýnského okruhu

1 - zásobník surového uhlí, 2 - talířový podavač, 3 - trubnatý mlýn, 4 - třídič, 5 - cyklon, 6 - turniketový uzávěr, 7 - šnekový dopravník, 9 - komůrkový podavač, 10 - ejektor, 11 - hořák, 12 - brýdový ventilátor, 13 - brýdový hořák, 14 - sekundární ventilátor, 15 - ohřívák vzduchu, 16 - primární ventilátor, 17 - přívod vzduchu, 18 - odběr sušících spalín, 19 - regulační klapka, 20 - recirkulační klapka.

2.4.2 Trubnatý mlýn

Technický popis:

Mlýn se skládá ze základového rámu, pohonu, ložisek, bubnu s pancéři, olejového čerpadla, tanku na mazací olej, olejového potrubí, chladiče oleje, teploměrů a tlakoměrů na vstupu a výstupu mlýnu, studené a teplé klapky, explozních membrán, kolen a náplně mlecích koulí. Buben a čela mlýnu jsou zhotoveny ze silného a dobře svařitelného plechu, čela jsou opatřena přírubami pro připojení čepů. Příruba k připevnění ozubeného věnce je z ploché skružené oceli. Buben je opatřen průlezem a uvnitř je vyložen pancéřovými deskami. Pancéřové desky kryjí také povrch čel a jsou připevněny šrouby k bubnu tak, aby každá z nich byla vyměnitelná. Mezi bubnem a pancířem je vložena silná pryžová deska. Na přírubách čel bubnu jsou přišroubovány duté ocelolitinové čepy. Vnitřní povrch čepů je opatřen šnekovnicí, která zamezuje usazování uhlí a vrací je zpátky do mlýna.

Čepy mlýna jsou uloženy v ložiskách a mazány olejem. Oběh oleje obstarává čerpadlo se samostatným pohonem. Těleso ložiska je litinové, připevněné k základové desce (rámu). Pohon mlýna se skládá z ocelolitinového ozubeného věnce, z předlohové hřídele s pastorkem s válečkovými ložisky, z převodové skříně, elektromotoru a ze dvou pružných celokovových spojek pro spojení převodové skříně s předlohovým hřídelem a elektromotorem. Ozubený věnec je zakryt plechovým krytem, který tvoří nádrž na mazací olej. Elektromotor je trojfázový, asynchronní s kotvou nakrátko, patkového tvaru, uzavřený, s impregnační vinutí pro vlhké prostředí. Kolena mlýna jsou šikmá tak, aby se v nich neusazovalo uhlí a uhelný prášek, proti přisávání falešného vzduchu jsou kolena opatřena ucpávkami. Ložiska, pohon a elektromotor jsou na základovém rámu. Mlýn je uzavřen ve stabilní izolační protihlukové skříně se vstupními dveřmi pro kontrolu stavu šroubů pancířů a izolačních vložek.

Funkce:

Bubnový mlýn s náplní mlecích koulí a pohonem je součástí mlecího okruhu. Uhlí je do mlýna přiváděno plynule přes vstupní koleno. Otáčením bubnu se uvedou do pohybu mlecí koule, které nárazy mezi sebou a na pancíř drtí uhlí na jemný prášek,

který je pak unášen nosným médiem do třídiče. Zde se oddělí hrubé nesemleté části, které spadnou zpět přes tzv. mihálku (klapku) potrubím zpět do mlýna, kde proběhne další proces mletí.

2.4.3 Talířový podavač

Technický popis:

Talířový podavač se skládá ze skříně, transportního talíře, regulačního ústrojí a pohonu. Skříň je prachotěsně uzavřena, připevněna patkami k podlaží. Ve spodní části je uložen vertikální hřídel, na něm je naklínován dopravní talíř, který slouží k dopravě paliva do mlýna. V horní části je teleskopická roura, kterou se nastavuje výška vrstvy paliva na dopravní talíř. Vnitřní část podavače surového uhlí je osazena hradítkem, které určuje výšku paliva padajícího do svodky vstupu mlýnu - tzv. hrubé nastavení množství paliva. Náhon podavače je přes frekvenční měnič s plynulou regulací otáček na kuželovém soukolí ve spodní části skříně, ve které je uložen svislý hřídel talíře. Na něm je naklínováno velké kolo kuželového soukolí.

Ovládání regulace je dálkové, na tepelné dozorně je vyvedena signalizace chodu podavače paliva. Zajištění plynulého toku paliva je řešeno umístěním pulzních trysek na ocelové výsypce zásobníku surového uhlí a navazující svodce.

Funkce:

Podavač slouží k plynulému dávkování a dopravě surového uhlí ze zásobníku surového uhlí do mlýna. Zajišťuje rovnoměrné podávání paliva v určitém množství a v plynule regulovatelném rozsahu.



obr č. 2.7 – Talířový podavač surového paliva

Funkce deskového uzávěru:

Otevřeným deskovým uzávěrem je umožněn vstup paliva do podavače. Po jeho uzavření a přerušení přísunu paliva lze palivo z podavače zcela odstranit (na příklad při vniknutí cizího předmětu do podavače a pro jeho následné vyjmutí).

Mazání všech mazacích míst je prováděno panelovými rozvody pomocí trubiček z tlakových hadic. Pro MO K 1,2: Deskový uzávěr je osazen ručním kolem s řetězem, kterým se provádí otevírání a zavírání deskového uzávěru

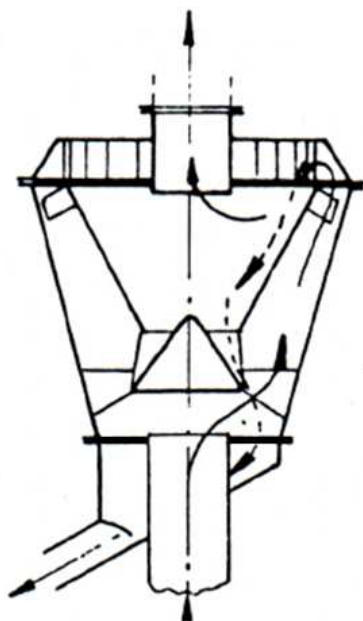
2.4.4 Třídič

Technický popis:

Třídič se skládá tří hlavních částí, které na sebe vzájemně navazují a jsou mezi sebou sešroubovány.

Ve spodní části je skluz pro návrat hrubých částí do mlýna. Ve střední části je zabudovaná nárazová deska a klapky pro návrat hrubších částí, které se odloučí v horní části. V horní části třídiče jsou natáčecí lopatky, jejichž natáčením za pomoci pákového mechanismu se provádí nastavení průchodu množství prášku přes poslední stupeň třídiče. Regulací těchto lopatek se nastavuje jemnost mletí v mlecím okruhu. Středem

horní části jde roura pro výstup prášku a nosného média z třídiče. V horní části jsou pak uspořádány explozní membrány.



Obr. 2.8 - Třídič typu Raymond [5]

Funkce:

Třídič je zařízení sloužící k oddělování hrubě rozemletých částic od jemných frakcí mletého paliva.

Proudem dopravního média unášené rozemleté částičky paliva jsou vrhány proti nárazové desce, která tento proud tříští a ohýbá, takže hrubé částice působením setrvačné síly se odloučí a vrací se výpadem přes potrubí, v němž je vložena klapka se závažím, tzv. mihálka, zpět do mlýna. Směs jemnějších částic a nosného média proudí dále třídičem a prochází rozšiřujícím se pláštěm třídiče a regulačním pákovým ústrojím, kterým prochází tangenciálně a ohýbá se směrem k výstupnímu hrdlu třídiče. Změnou dopravní rychlosti média, změnou směru dopravy a působením setrvačné a odstředivé síly dochází k dalšímu odlučování hrubších částic z proudu dopravního média.

Odloučená směs se vrací přes lehké zpětné klapky zpět přes mihálku návratovým potrubím do mlýna, kdežto jemnější frakce rozemletého paliva odchází společně s dopravním médiem do odlučovačů – cyklonů. Jemnost mletí je možno regulovat v třídiči jednak nastavením teleskopu ve výstupním hrdle třídiče a jednak otevíráním a

zavíráním lopatek v třídiči - t.j. čím více jsou lopatky otevřené, tím méně paliva se vrací do mlýna a semletý prášek je hrubější a naopak, čím více jsou lopatky přivřené, tím více se vrací paliva zpět do mlýna a semletý prášek je jemnější.

2.4.5 Mechanický odlučovač – cyklon

Technický popis:

Jedná se o odlučovač SEA 1600/2, kde průměr odlučovače je 2 000 mm a jeho výška je 4 550 mm. Skládá se ze dvou jednotek a stupeň odloučení dosahuje 80 - 90 %. Mechanický odlučovač se skládá z válcové části, která je sešroubována pomocí přírub se spodní kuželovou částí, která má také přírubu pro turniketový uzávěr a patky pro usazení na nosnou konstrukci.

Vstup do odlučovače je tangenciální se zabudovanou regulační klapkou. Horní část je opatřena explozními membránami.

Funkce:

Mechanický odlučovač slouží k odloučení uhelného prášku od nosného média. Směs uhelného prášku s nosným médiem vstupuje tangenciálně do horní části a šroubovitě klesá do spodní části. Za vstupem je nastavitelná klapka, regulující množství vstupující směsi. Hrubější části prášku odpadnou následkem poklesu rychlosti při vstupu do válcové části a ostatní části se odloučí v proudu následkem odstředivé síly, která je tlačí ke stěně, kde následkem tření klesá rychlost.

Nosné médium s neodloučenými nejjemnějšími frakcemi prášku odchází střední válcovou částí z odlučovače jako brýdy k brýdovým hořákům, část se využívá jako recirkulace zpět do mlecího okruhu. Odloučený prášek se usazuje ve spodní kuželové části, která je uzavřena turniketovým uzávěrem. Přes něj je dopravován prášek do zásobníku prášku nebo potrubím po přepnutí příslušné klapky do šnekového dopravníku.

2.4.6 Turniketový uzávěr

Technický popis:

Turniketový uzávěr se skládá s tělesa, víka s ložisky a rotoru, který je na společné hřídeli se šnekovým kolem. Pohon je prováděn šnekem, jehož hřídel je uložen v ložiskách. Hřídel šneku je spojen pomocí pružné spojky s elektromotorem. Turniket je pomocí příruby našroubován na spodní část mechanického odlučovače.

Funkce:

Rotační turniketový uzávěr je zařízení sloužící k plynulému odebrání uhelného prášku z prostorů, ve kterých je trvale udržován podtlak a je třeba při provozu dodržet nejvyšší těsnost zařízení. Při provozu padá uhelný prášek do otáčejícího se rotoru, který je opatřen lopatkami, vytvářejícími spolu s tělesem skříně turniketu a čely komůrky, kterými je materiál dopravován opět z uzávěru ven. Dopravovaný prach tvoří zároveň těsnění proti vnikání falešného vzduchu turniketem do uzavřených prostor.

2.4.7 Šnekový dopravník

Technický popis:

Šnekový dopravník se skládá z děleného šneku (mezi K2 a K3), ložisek, krytů, elektromotorů, převodových skříní, spojek a centrálního mazání. Samostatně se dá ovládat jedna polovina pro K1 a K2, druhá pak pro K3 a K4.

Dopravník je tvořen korytem a otáčejícím se šnekovým hřídelem. Šnekový hřídel je složen z jednotlivých sekcí od 2 000 mm po 3 500 mm dlouhých. Místa spojení jsou zároveň uložení (zavěšení) hřídele v konstrukci závěsných ložisek kluzného provedení. Spojení jednotlivých hřídelí s čepy závěsných ložisek s okrajovými čepy je

provedeno dvoudílnou spojkou. Čep pohonu a koncový čep jsou otočné ve valivých ložiskách, umístěných vně pracovního prostoru koryta. Koryto je uzavřeno krytem z tenkostěnného plechu a opatřeno ve všech spojkách těsnícími prvky k zamezení prášení do okolí. Pro kontrolu stavu šnekovnic, případně ucpání koryta, jsou kryty opatřeny kontrolními otvory s otočným uzávěrem. Pohon je uložen na základovém rámu a proveden elektromotorem a převodovou skříní ze strany od K 1 a samostatným elektromotorem s převodovou skříní na rámu ze strany od K 4. Ve spodní části šnekového dopravníku jsou zhotoveny výpady do jednotlivých zásobníků prášku, které jsou ovládané z tepelného velínu dálkově. Výpady jsou řešeny jako klapky nebo deskové uzávěry.

Funkce:

Šnekový dopravník slouží k přepravě prášku do zásobníků kotlů. Aby bylo možno přepravovat uhelný prach libovolným směrem a do libovolných zásobníků prášku, je pohon vybaven reverzací chodu elektromotoru a kromě toho je dopravní šnek rozpůlen, takže může dopravovat současně materiál ve směru i v protisměru.

2.4.8 Mlýnský (brýdový) ventilátor

Technický popis:

Mlýnský ventilátor se skládá z oběžného kola, skříně, regulačního ústrojí, ložisek, hřídele, elektromotoru, spojky a podstavce, který umožňuje připevnění ventilátoru pružnými izolátory k základu.

Funkce:

Úkolem mlýnského ventilátoru v mlecím okruhu je udržování trvalého podtlaku v systému, doprava a sušení mletého paliva ve vzhledu, dopravovat brýdy jednak zpět do mlecího okruhu a jednak do kotle do brýdových hořáků.

2.4.9 Zásobník surového paliva

Každý kotel má dva samostatné zásobníky o objemu 160 m^3 . Zásobník surového uhlí je ocelový. Ocelová konstrukce je zavěšena na zabetonovaných ocelových věncích v železobetonových ztužidlech skeletu bunkrové stavby. Výsypky jsou v úrovni +11,0 m t.j. 3,5 m nad úrovní podlaží +7,5 m. Horní okraj ocelového bunkru je na podlaží +20,6 m. Nahoře má bunkr průřez obdélníkový 5,40 m x 5,15 m. Tvar bunkru je komolý jehlan, kde jedna stěna na straně ke kotelně je svislá.

Výsypka je nasazena na věnci v úrovni +14,25 m. Osvětlení zásobníku je provedeno shora svítidlem v nevýbušném provedení. Pro čištění zásobníku za provozu je v prostoru kotle na kótě + 14 m provedena speciální úprava tzv. kapsy, takže uvolňování se provádí z vnějšího prostoru. Na zásobníku jsou zhotoveny průlezy taktéž na kótě + 14 m pro kontrolní činnost při čištění zásobníku. Měření hladiny paliva v zásobníku surového uhlí K 1,2,3 je prováděno snímači hladiny NIVOSONIC 671 pracující na principu snímání hladiny ultrazvukem.

V zásobníku není umístěno žádné zařízení. Oprava zásobníků se provádí pouze v dlouhodobých časových intervalech při opravě vlastních stěn. Dále je ve stropě každého zásobníku proveden vstup, který je překryt mříží, vsazené do rámu vstupu. Mříž je překryta plechem, který je uzamčen zámkem.

2.4.10 Zásobník prášku

Vstup do zásobníku prášku je opatřen krytem, který je připevněn šrouby, v zásobníku je trvale umístěn vstupní žebřík. Zásobník je svařený ze silného ocelového plechu a tvoří dvě skladovací části, ze kterých je každá opatřena čtyřmi výstupními otvory s přírubami pro připevnění podavačů uhelného prášku. Celý zásobník je vyztužen profilovou ocelí. Horní část zásobníku prášku má rozměr 5 m x 8 m, ve dvou metrech od shora je provedeno lichoběžníkové zúžení až po podavače prášku. Výška zásobníku prášku je po podavače prášku 5 m, volný objem zásobníků prášku cca 200 m^3 , užitečný objem 180 m^3 . V zásobníku prášku jsou umístěny měřicí sondy pro teploměry. Pro měření hladiny prášku jsou na zásobnících prášku K 1,2,3 osazeny

snímače hladiny SILOPILOT FMM 760Z, měření pracuje na principu sjíždění a vyjíždění závaží v pravidelných intervalech, čímž dochází ke změření hladiny prášku. Měření je namontováno shora zásobníku. Proti hoření jsou zásobníky opatřeny přívodem dusíku. Pod zásobníky prášku je namontováno osm podavačů prášku. Oprava zásobníku prášku se provádí v dlouhodobé časové periodě při opravě stěn zásobníku.

Při každém delším odstavení mlecího zařízení, nejméně však 1x za rok je nutné zásobníky surového uhlí a uhelného prášku úplně vyprázdnit, vyčistit a prohlédnout.

2.4.11 Protivýbušný systém

Technický popis:

Protivýbušný systém ANTIDET se skládá s řídicí jednotky, tlakového snímače exploze a akčního prvku s hasivem.

Řídicí jednotka: monitoruje, vyhodnocuje a řídí stav celého ochranného systému. V případě definovaného nárustu tlaků, které doprovází explozi, vyše řídicí jednotka signál k otevření jednoho nebo více expanzních ventilů příslušných akčních prvků aktivovaných daným snímačem. Řídicí jednotka je napojena na řídicí systém TDC 3000 a poskytuje tak informace o stavu ochranného systému v každém okamžiku provozu.

Tlakový snímač: slouží ke snímání tlakových poměrů uvnitř chráněného zařízení.

Akční prvek: skládá se z tlakové láhve a expanzního ventilu. Jednotlivé typy akčních prvků se liší velikostí tlakové lahve.

Tlaková láhev akčního prvku: slouží jako zásobník pro přechovávání hasícího prostředku (hasící prášek PULVEX), který je pod stálým tlakem vynášecího plynu (N₂). Láhev je uzavřena expanzním ventilem.

Expanzní ventil: uzavírá akční prvek s hasivem. V případě signálu k otevření je uzavírací mechanismus ventilu uvolněn pyrotechnickým iniciátorem.

Funkce:

Je ochranný systém, který se používá na ochranu zařízení a obsluhy před nežádoucími účinky výbuchu prachovzdušných směsí třídy St1 a St2 potlačením výbuchu uvnitř uzavřených zařízení.

3. POPIS KOTLE K1

3.1 Parametry kotle K1

Jmenovitý hmotnostní průtok páry	34,72 kg·s⁻¹ (125 t·h⁻¹)
Hospodárný hmotnostní průtok páry	27,78 kg·s⁻¹ (100 t·h⁻¹)
Jmenovitý tepelný výkon	88,6 MW
Jmenovitý přetlak přehřáté páry	9,3 MPa
Jmenovitá teplota přehřáté páry	540 +5 -10 °C.
Teplota napájecí vody na vstupu do kotle	210 +5 -10 °C
Teplota spalin za kotlem	150 °C
Účinnost kotle při jmenovitém výkonu	
a při spalování ostravského proplásku	83,5 %

3.2 Charakteristika kotle

Jedná se o granulační, sálavý kotel s přirozenou cirkulací (jednobubnový). Ohřívák vody i vzduchu je dvousekcový, součástí kotle je hydraulické odstruskování a elektrostatický odlučovač popílku ze spalin.

Spalovací komoru tvoří varné trubky s praporky. Strop spalovací komory je také z varných trubek, které jsou otrněné a omazané ohnivzdorným omazem.

Napájecí voda je vedena z napájecí hlavy kotle do ohříváku vody (ekonomizéru). Ohřívák vody je dvoustupňový a je vytvořen z vodorovných hadů. Napájecí voda je vedena z napájecí hlavy do vstupních komor ekonomizéru, přes soustavu hadů do

výstupních komor ekonomizéru. Z výstupních komor je pak voda vedena do napájecího žlabu v kotlovém tělese.

V kotlovém tělese je umístěna cyklónová vestavba pro odloučení vody z vyrobené parovodní směsi. Kotlové těleso je spojeno se spodními komorami výparníku systémem zavodňovacích trubek. Směs vody a páry z výparníku se převádí systémem převáděcích trubek přes cyklónovou vestavbu zpět do kotlového tělesa. Sytá pára z kotlového tělesa se odvádí převáděcími trubkami do přehříváku.

V horní části spalovací komory jsou umístěny práškové a brýdové hořáky a probíhá zde spalování. Olejové hořáky slouží k zapalování a stabilizaci. Ve spodní části spalovací komory, dohořívá uhelný prášek, spodní část spalovací komory je ukončena vynašečem strusky. Do vynašeče padá struska před mezistěnou, která je také z varných trubek, opatřených dvojitým opraporkováním. Granulované zbytky popelovin se odvádí z výsypky kotle řetězovým dopravníkem přes vanu, která slouží jako vodní uzávěr bránící vnikání falešného vzduchu do spalovací komory kotle. Dále jsou přes drtič strusky splavovány vodou do bagrovací jímky.

Spalovací komora je rozdělena mezistěnou na první a druhý tah. Ve druhém tahu stoupají spaliny vzhůru. Zde jsou umístěny svazky trubek sálavě konvekčního přehříváku č.4 a výstupního přehříváku č.5. Zadní stěnu tohoto tahu tvoří stěna ze šamotových tvárnic.

Regulace teploty přehřáté páry se provádí vstřikováním napájecí vody. První vstřík je v propojovacím potrubí mezi třetím a čtvrtým stupněm přehříváku. Druhý vstřík je umístěný na obou stranách kotle v propojovacím potrubí mezi čtvrtým a pátým přehřívákem.

Na výstupu páry z kotle je instalován hlavní parní uzávěr s obtokem. Dále je pára vedena do parního uzlu, kde je provedeno propojení s kotlem K2. Před hlavním parním uzávěrem je provedeno najížděcí potrubí do atmosféry s tlumičem hluku.

Trubkový ohřívák vzduchu je poslední výhřevná plocha kotle. Spaliny proudí uvnitř trubek a vzduch vně trubek.

Spalovací vzduch je nasávaný přes nasávací šachtu z kotelny nebo jedním sacím axiálním ventilátorem (SV) z okolí. Z výstupního potrubí SV je provedena odbočka pro chlazení nosníků. Ohřátý vzduch z nosníků se vrací do nasávací šachty.

Sekundární vzduch je tlačěn přes dvouproudý ohřívák vzduchu (LUVO) potrubím po obou stranách kotle k hořákovým skříním práškových hořáků, k olejovým hořákům (OH) a do potrubí dohořívacích vzduchů. Na potrubí SV k hořákovým skříním (blíže čela kotle) je napojeno sací potrubí primárních ventilátoru (PV).

Primární ventilátory tlačí vzduch do rozdělovací komory primárního vzduchu, odkud je veden do jednotlivých směšovacích kusů a spolu s práškem do práškových hořáků.

Řízením spalovacího režimu s přebytkem vzduchu se ovlivňují emisní hodnoty, které jsou měřeny kontinuálním měřením, které je na kotli instalováno.

Spaliny jsou ze spalovací komory odsávány dvěma spalinovými ventilátory a procházejí přes dodatkové plochy kotle, elektrostatický odlučovač a tkaninové filtry do komína.

Elektrostatický odlučovač se skládá ze dvou samostatných větví, z nichž každá má dvě sekce ve společné skříni. Ve skříni jsou zavěšeny vysokonapěťové elektrody, kde dochází vlivem přeskokování náboje mezi elektrodami k usazování popílku na usazovacích deskách, ze kterých je popílek oklepáván soustavou oklepávacích kladiv. Usměrnovací stanice pro napájení elektrod je umístěna v samostatné místnosti pod odlučovači. [5]

4. STECHIOMETRICKÉ VÝPOČTY

Pomocí stechiometrických výpočtů, určíme jednak, objem vzduchu, který je potřebný pro spalování jednotkového množství paliva a taky objem spalin, které při spalování vznikají. Pro výpočet se používají chemické reakční rovnice (stechiometrické spalovací rovnice) a bilance látkových množství. Dle průběhu spalovacího procesu máme dva základní modely, dokonalé spalování a nedokonalé spalování. Při nedokonalém spalování dochází k částečnému vyhoření paliva a vzniká, nedopal, kdežto u dokonalého spalování dochází k celkovému vyhoření hořlaviny v palivu, jedná se o model teoretický. Přesto se při stechiometrických výpočtech počítá převážně s rovnicemi pro dokonalé spalování, protože odchylka mezi vypočtenými hodnotami je z

hlediska technických návrhů zanedbatelná. Vypočtené hodnoty jsou uváděny v $\text{m}^3_{\text{N}}/\text{kg}_{\text{paliva}}$ kde m^3_{N} jsou metry krychlové normální při $T = 273 \text{ K}$ a $p = 101,325 \text{ kPa}$ a $\text{kg}_{\text{paliva}}$ je hmotnost 1 kilogramu paliva. [4]

4.1 Prvkový rozbor paliva

Ostravský proplástek, který je spalován v teplárně Přerov.

C^r	0,452
H^r	0,03
S^r	0,008
N_2^r	0,007
O_2^r	0,053
A^r	0,35
W^r	0,1
Q_i^r	17

4.2 Teoretický objem kyslíku potřebný pro dokonalé spálení 1 kg paliva

U kyslíku, který je vázaný v palivu se předpokládá, že dojde k jeho uvolnění a proto se kyslík v palivu odečítá od objemu kyslíku pro dokonalé spálení paliva.

$$V_{O_{2,t}} = \frac{22,4}{12} \cdot C^r + \frac{22,4}{32} \cdot S^r + \frac{22,4}{4} \cdot H_2^r - \frac{22,4}{32} \cdot O_2^r \quad [\text{m}^3_{\text{N}} \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (4.1)$$

$$V_{O_{2,t}} = \frac{22,4}{12} \cdot 0,452 + \frac{22,4}{32} \cdot 0,008 + \frac{22,4}{4} \cdot 0,03 - \frac{22,4}{32} \cdot 0,053$$

$$V_{O_{2,t}} = 0,9802 [\text{m}^3_{\text{N}} \cdot \text{kg}^{-1}]$$

Pro spálení 1 kg paliva je zapotřebí $0,98\text{m}_\text{N}^3$ kyslíku.

Kde:

$\text{C}^r, \text{H}^r, \text{S}^s, \text{O}^r$ - jsou prvkové obsahy v palivu v surovém stavu

4.3 Objem suchého vzduchu potřebného pro dokonalé spálení 1kg paliva

$$V_{vz,t}^s = \frac{V_{O_{2,t}}}{0,21} \quad [\text{m}_\text{N}^3 \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (4.2)$$

$$V_{vz,t}^s = \frac{0,9802}{0,21}$$

$$V_{vz,t}^s = 4,667 [\text{m}_\text{N}^3 \cdot \text{kg}^{-1}]$$

Kde:

$V_{O_{2,t}}$ - objem kyslíku potřebného pro dokonalé spálení 1kg paliva

0,21 - objemové zastoupení kyslíku v atmosféře

4.4 Objem vodní páry připadající na 1 m_N^3 suchého vzduchu

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{\varphi}{100} \cdot \frac{p''}{p_c - \frac{\varphi}{100} \cdot p''} \quad [1] \quad (4.3)$$

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{70}{100} \cdot \frac{2,3368}{103,6618 - \frac{70}{100} \cdot 2,3368}$$

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = 0,016 [-]$$

Kde:

φ - relativní vlhkost vzduchu

p_c - absolutní tlak vlhkého vzduchu

p'' - parciální tlak vodní páry na mezi sytosti při dané teplotě vzduchu

Pro běžné konstrukční výpočty lze volit relativní vlhkosti $\varphi = 70 \%$ při teplotě $t = 20^\circ\text{C}$ a odpovídajícímu tlaku vodní páry $p'' = 2,3368 \text{ kPa}$.

4.5 Poměrné zvětšení objemu suchého vzduchu o objem vodní páry

$$\gamma = 1 + V_{\text{H}_2\text{O}} \quad [-] \quad (4.4)$$

$$\gamma = 1 + 0,016 \quad [-]$$

$$\gamma = 1,016$$

Kde:

4.6 Objem vlhkého vzduchu potřebného pro dokonalé spálení 1kg paliva

$$V_{\text{vz,t}}^{\text{v}} = \gamma \cdot V_{\text{vz,t}}^{\text{s}} \quad [\text{m}_\text{N}^3 \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (4.5)$$

$$V_{\text{vz,t}}^{\text{v}} = 1,016 \cdot 4,667$$

$$V_{\text{vz,t}}^{\text{v}} = 4,742 [\text{m}_\text{N}^3 \cdot \text{kg}^{-1}]$$

Kde:

γ - součinitel zvětšení objemu vlivem vlhkosti

$V_{\text{vz,t}}^{\text{s}}$ - Objem suchého vzduchu potřebného pro dokonalé spálení 1kg paliva.

4.7 Objem vzduchu skutečného suchého s uvažáním přebytku vzduchu $\alpha=1,25$

$$V_{vz,sk}^s = \alpha \cdot V_{vz,t}^s \quad [\text{m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (4.6)$$

$$V_{vz,sk}^s = 1,25 \cdot 4,667$$

$$V_{vz,sk}^s = 5,834 [\text{m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}]$$

Kde:

α - součinitel přebytku vzduchu

$V_{vz,t}^s$ - Objem suchého vzduchu potřebného pro dokonalé spálení 1kg paliva

4.8 Objem vzduchu skutečného vlhkého

$$V_{vz,sk}^v = \alpha \cdot V_{vz,t}^v \quad [\text{m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (4.7)$$

$$V_{vz,sk}^v = 1,25 \cdot 4,742$$

$$V_{vz,sk}^v = 5,928 [\text{m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}]$$

Kde:

α - přebytek vzduchu

$V_{vz,t}^v$ - Objem vlhkého vzduchu potřebného pro dokonalé spálení 1kg paliva

4.9 Objem suchých spalin

$$V_{sp,t}^s = V_{CO_2} + V_{SO_2} + V_{N_2} + V_{Ar} \quad [\text{m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (4.8)$$

$$V_{sp,t}^s = \frac{22,4}{12} \cdot C^r + \frac{22,4}{32} \cdot S^r + \frac{22,4}{28} \cdot N_2^r + 0,79 \cdot V_{vz,t}^s + 0,0092 \cdot V_{vz,t}^s$$

$$V_{sp,t}^s = \frac{22,4}{12} \cdot 0,452 + \frac{22,4}{32} \cdot 0,008 + \frac{22,4}{28} \cdot 0,007 + 0,79 \cdot 4,667 + 0,0092 \cdot 4,667$$

$$V_{sp,t}^s = 4,5854 \text{ [m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}\text{]}$$

4.10 Objem suchých skutečných spalin

$$V_{sp,sk}^s = V_{sp,t}^s + V_{co2} \quad [\text{m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (4.9)$$

$$V_{sp,sk}^s = 4,5857 + 0,245$$

$$V_{sp,sk}^s = 5,8307 \text{ [m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}\text{]}$$

$$V_{O_2} = 0,21 \cdot (\alpha - 1) \cdot V_{vz,t}^s$$

$$V_{O_2} = 0,21 \cdot (\alpha - 1,25) \cdot 4,667$$

$$V_{O_2} = 0,245 \text{ [m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}\text{]}$$

4.11 Objem vlhkých spalin

$$V_{sp,sk}^v = V_{sp,sk}^s + V_{H_2O} = 5,5857 + 0,535 = 5,3657 \text{ [m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}\text{]}$$

$$V_{H_2O} = \frac{22,4}{2} \cdot H_2^r + \frac{22,4}{18} \cdot W^r + (\gamma - 1) \cdot V_{vz,t}^s$$

$$V_{H_2O} = \frac{22,4}{2} \cdot 0,03 + \frac{22,4}{18} \cdot 0,1 + (1,016 - 1) \cdot 4,667 = 0,535 \text{ [m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}\text{]}$$

4.12 Procentuální zastoupení ve vlhkých spalinách CO₂

$$CO_2 = \frac{V_{CO_2}}{V_{sp,sk}^v} \cdot 100 \quad [\%] \quad (4.10)$$

$$CO_2 = \frac{\frac{22,4}{12} \cdot C^r}{V_{sp,sk}^v} \cdot 100$$

$$CO_2 = \frac{\frac{22,4}{12} \cdot 0,452}{5,3657} \cdot 100 = 15,72 [\%]$$

4.13 Procentuální zastoupení ve vlhkých spalínách H₂O

$$H_2O = \frac{V_{H_2O}}{V_{sp,sk}^v} \cdot 100 \quad [\%] \quad (4.11)$$

$$H_2O = \frac{V_{H_2O}}{V_{sp,sk}^v} \cdot 100$$

$$H_2O = \frac{0,535}{5,365} \cdot 100 = 9,972 [\%]$$

4.14 Procentuální zastoupení ve vlhkých spalínách SO₂

$$SO_2 = \frac{V_{SO_2}}{V_{sp,sk}^v} \cdot 100 \quad [\%] \quad (4.12)$$

$$SO_2 = \frac{\frac{22,39}{32,06} \cdot S^r}{V_{sp,sk}^v} \cdot 100$$

$$SO_2 = \frac{\frac{22,4}{32} \cdot 0,008}{5,365} \cdot 100 = 0,1043 [\%]$$

4.15 Procentuální zastoupení ve vlhkých spalínách O₂

$$O_2 = \frac{V_{O_2}}{V_{sp,sk}^v} \cdot 100 \quad [\%] \quad (4.13)$$

$$O_2 = \frac{0,21 \cdot (1,25 - 1) \cdot V_{vz,t}^s}{V_{sp,sk}^v} \cdot 100$$

$$O_2 = \frac{0,21 \cdot (1,25 - 1) \cdot 4,676}{5,365} \cdot 100 = 4,575[\%]$$

4.16 Procentuální zastoupení ve vlhkých spalínách N₂

$$N_2 = \frac{V_{N_2}}{V_{sp,sk}^v} \cdot 100 \quad [\%] \quad (4.14)$$

$$N_2 = \frac{\frac{22,4}{28} \cdot N_2^r + 0,79 \cdot V_{vz,t}^s}{V_{sp,sk}^v} \cdot 100$$

$$N_2 = \frac{\frac{22,4}{28} \cdot 0,007 + 0,79 \cdot 4,667}{5,365} \cdot 100 = 68,82 [\%]$$

4.17 Procentuální zastoupení ve vlhkých spalínách Ar

$$Ar = \frac{V_{Ar}}{V_{sp,sk}^v} \cdot 100 \quad [\%] \quad (4.15)$$

$$Ar = \frac{0,0092 \cdot V_{vz,t}^s}{V_{sp,sk}^v} \cdot 100$$

$$Ar = \frac{0,0092 \cdot 4,667}{5,365} \cdot 100 = 0,8 [\%]$$

4.18 Procentuální zastoupení v suchých spalínách CO₂

$$CO_2 = \frac{V_{CO_2}}{V_{sp,sk}^s} \cdot 100 \quad [\%] \quad (4.16)$$

$$CO_2 = \frac{\frac{22,4}{12} \cdot C^r}{V_{sp,sk}^s} \cdot 100$$

$$CO_2 = \frac{\frac{22,4}{12} \cdot 0,452}{4,83} \cdot 100 = 17,46 [\%]$$

4.19 Procentuální zastoupení ve vlhkých spalínách SO₂

$$SO_2 = \frac{V_{SO_2}}{V_{sp,sk}^v} \cdot 100 \quad [\%] \quad (4.17)$$

$$SO_2 = \frac{\frac{22,39}{32,06} \cdot S^r}{V_{sp,sk}^s} \cdot 100$$

$$SO_2 = \frac{\frac{22,4}{32} \cdot 0,008}{4,83} \cdot 100 = 0,115 [\%]$$

4.20 Procentuální zastoupení v suchých spalínách O₂

$$O_2 = \frac{V_{O_2}}{V_{sp,sk}^s} \cdot 100 \quad [\%] \quad (4.18)$$

$$O_2 = \frac{0,21 \cdot (1,25 - 1) \cdot V_{vz,t}^s}{V_{sp,sk}^s} \cdot 100$$

$$O_2 = \frac{0,21 \cdot (1,25 - 1) \cdot 4,676}{4,83} \cdot 100 = 5,073 [\%]$$

4.21 Procentuální zastoupení v suchých spalínách N₂

$$N_2 = \frac{V_{N_2}}{V_{sp,sk}^s} \cdot 100 \quad [\%] \quad (4.19)$$

$$N_2 = \frac{\frac{22,4}{28} \cdot N_2^r + 0,79 \cdot V_{vz,t}^s}{V_{sp,sk}^v} \cdot 100$$

$$N_2 = \frac{\frac{22,4}{28} \cdot 0,007 + 0,79 \cdot 4,667}{4,83} \cdot 100 = 76,455 [\%]$$

4.22 Procentuální zastoupení v suchých spalinách Ar

$$Ar = \frac{V_{Ar}}{V_{sp,sk}^v} \cdot 100 \quad [\%] \quad (4.20)$$

$$Ar = \frac{0,0092 \cdot V_{vz,t}^s}{V_{sp,sk}^v} \cdot 100$$

$$Ar = \frac{0,0092 \cdot 4,667}{4,83} \cdot 100 = 0,889 [\%]$$

5. ZTRÁTY KOTLE A TEPELNÁ ÚČINNOST

Výpočet tepelných ztrát kotle a následná účinnost byla zpracována dle literatury [4],[6]. Výpočet probíhal metodou nepřímě účinnosti, součtem jednotlivých tepelných ztrát zařízení.

5.1 Ztráta hořlavinou v tuhých zbytcích – mechanickým nedopalem

$$Z_{c,h} = Z_s + Z_u + Z_p \quad [\%] \quad (5.1)$$

$$Z_{c,h} = Z_s + Z_u + Z_p$$

$$Z_{c,h} = 5,71 \%$$

Skládá se s nespálené hořlaviny v tuhých zbytcích, tuto ztrátu určím ze vztahu.

Kde:

Z_s Ztráta ve strusce [%]

Z_u Ztráta v úletu [%]

Z_p Ztráta v popílku [%]

Ztráta ve strusce

$$Z_s = \frac{C_s}{1 - C_s} \cdot X_i \cdot \frac{A^r}{Q_p^p} \cdot Q_{ci} [\%]$$

$$Z_s = \frac{0,03}{1 - 0,03} \cdot 0,15 \cdot \frac{0,35}{18631,5} \cdot 32600$$

$$Z_s = 0,00284$$

Kde:

C_s - procento hořlaviny

X_s - procento popela zachycené

A^r - procento popela v palivu

Q_p^p - teplo přivedené do kotle jedním kilogramem paliva

Q_{cs} - výhřevnost hořlaviny

Ztráta v popílku

$$Z_p = \frac{C_p}{100 - C_p} \cdot X_p \cdot \frac{A^r}{Q_p^p} \cdot Q_{ci} [\%]$$

$$Z_p = \frac{0,0945}{1 - 0,0945} \cdot 0,8498 \cdot \frac{0,35}{18631,5} \cdot 32600$$

$$Z_p = 5,431 [\%]$$

Kde:

C_p - procento hořlaviny

X_p - procento popela zachycené

A^r - procento popela v palivu

Q_p^p - teplo přivedené do kotle jedním kilogramem paliva

Q_{cp} - výhřevnost hořlaviny

Ztráta v úletu

$$Z_u = \frac{C_u}{100 - C_u} \cdot X_u \cdot \frac{A^r}{Q_p^p} \cdot Q_{cu} [\%]$$

$$Z_u = \frac{0,0945}{1 - 0,0945} \cdot 0,0002 \cdot \frac{0,35}{18631,5} \cdot 32600$$

$$Z_u = 0,00128 [\%]$$

Kde:

C_u - procento hořlaviny v úletu

X_u - procento popela zachycené v úletu

A^r - procento popela v palivu

Q_p^p - teplo přivedené do kotle jedním kilogramem paliva

Q_{cu} - výhřevnost hořlaviny v úletu

5.2 Ztráta chemickým nedopalem

$$Z_{co} = \frac{0,2116 \cdot \rho_{co} \cdot V_{sp,t}^s}{(21 - C_{o2ref}) \cdot Q_i^r} \cdot 100 \quad [\%] \quad (5.21)$$

$$Z_{co} = \frac{0,2116 \cdot 250 \cdot 4,542}{(21 - 6) \cdot 18631,5} \cdot 100$$

$$Z_{co} = 0,086 [\%]$$

kde

ρ_{CO} - hmotnostní koncentrace CO daná emisním limitem pro práškové ohniště

$V_{sp,t}^s$ - minimální objem suchých spalín ze spálení 1 kg paliva [m³ N/kg]

5.3 Ztráta citelným teplem spalín – komínová

$$Z_k = (1 - Z_c) \cdot \left(\frac{I_s^{t_k, \alpha_k} - I_s^{t_{vz}, \alpha_k}}{Q_{i \text{ red}}} \right) \cdot 100 \quad [\%] \quad (5.3)$$

$$Z_k = (1 - 0,00284) \cdot \left(\frac{1631,07 - 149,239}{18,6315} \right) \cdot 100$$

$$Z_k = 7,93 [\%]$$

kde

$I_s^{t_k, \alpha_k}$ je entalpie spalin při teplotě $t_k - 150\text{ °C}$ (teplota spalin za kotlem)

$I_s^{t_{vz}, \alpha_k}$ je entalpie spalin při teplotě vzduchu v kotelně (30 °C)

Entalpie spalin byla vypočtena pro dané teploty ze známých entalpií jednotlivých složek spalin pro dané teploty, výpočet byl interpolován pro dané teploty.

5.4 Ztráta fyzickým teplem tuhých zbytků

$$Z_f = Z_{fs} + Z_{fp} + Z_{fú} \quad [\%] \quad (5.4)$$

$$Z_f = 0,162 + 0,2186 + 0,0000514 = 0,4288[\%]$$

Kde:

Z_{fs} - ztráta fyzickým teplem tuhých zbytků v strusce

Z_{fp} - ztráta fyzickým teplem tuhých zbytků v popílku

$Z_{fú}$ - ztráta fyzickým teplem tuhých zbytků v úletu

Jednotlivé ztráty určíme se vztahu

$$Z_{fi} = \frac{X_i}{100 - C_i} \cdot \frac{A^r}{Q_p^p} \cdot c_i \cdot t_s [\%]$$

Kde:

C_i - procento hořlaviny v uvažovaném druhu tuhých zbytků

X_i - procento popela zachycené v uvažovaném druhu tuhých zbytků

A^r - procento popela v palivu

Q_p^p - teplo přivedené do kotle jedním kilogramem paliva

c_i - měrné teplo tuhých zbytků popela

t_s - teplota uvažovaného druhu zbytků

$i = s - \text{struska}, p - \text{popílek}, ú - \text{úlet}$

Ztráta fyzickým teplem ve strusce

$$Z_{fs} = \frac{X_f}{1 - C_f} \cdot \frac{A^r}{Q_p^p} \cdot c_s \cdot t_s \cdot 100 [\%]$$

$$Z_{fs} = \frac{0,15}{1 - 0,03} \cdot \frac{0,35}{18631,5} \cdot 0,9301 \cdot 600 \cdot 100 [\%]$$

$$Z_{fs} = 0,162 [\%]$$

Ztráta fyzickým teplem v popílku

$$Z_{fp} = \frac{X_p}{100 - C_p} \cdot \frac{A^r}{Q_p^p} \cdot C_i \cdot t_p \cdot 100 [\%]$$

$$Z_{fp} = \frac{0,849}{1 - 0,0945} \cdot \frac{0,35}{18631,5} \cdot 0,8267 \cdot 150 \cdot 100$$

$$Z_{fp} = 0,2186 [\%]$$

Ztráta fyzickým teplem v úletu

$$Z_{fu} = \frac{X_u}{1 - C_u} \cdot \frac{A^r}{Q_p^p} \cdot C_i \cdot t_u \cdot 100 [\%]$$

$$Z_{fu} = \frac{0,0002}{1 - 0,0945} \cdot \frac{0,35}{18631,5} \cdot 0,8267 \cdot 150 \cdot 100$$

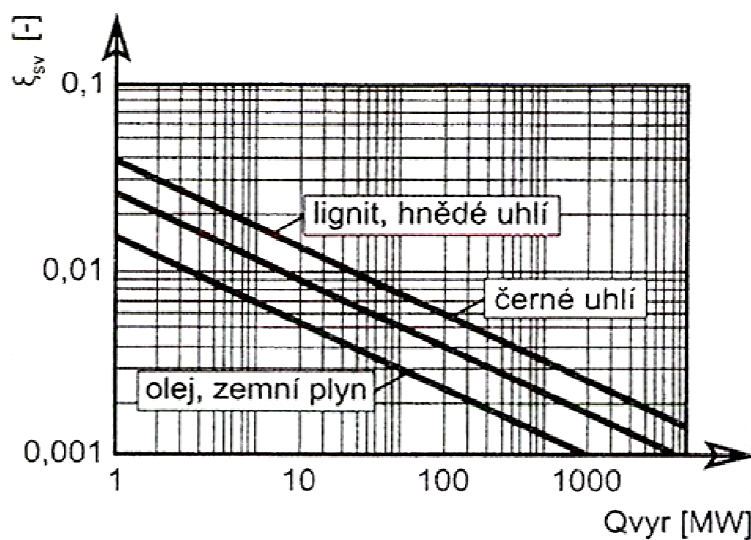
$$Z_{fu} = 0,00005145 [\%]$$

5.5 Ztráta sdílením tepla do okolí

Tato ztráta je určena pomocí grafu 5.1, který nám popisuje závislost mezi jmenovitým tepelným výkonem a ztrátou sdílením do okolí. V kotli je spalováno černé uhlí.

$$Q_{vytj} = 88,6 [\text{MW}]$$

$$Z_{sv} = 0,75 [1]$$



graf 5.1 - Závislost jmenovitého tepelného výkonu na ztrátě sdílením do okolí

5.6 Tepelná účinnost kotle nepřímá metoda

$$\eta_k = 100 - \sum Z \quad [\%] \quad (5.5)$$

$$\eta_k = 100 - 14,77 = 85,4[\%]$$

5.7 Výrobní teplo páry a množství paliva

5.7.1 Výrobní teplo páry

$$Q_v = M_{pp} \cdot (i_{pp} - i_{nv}) \quad [\text{kW}] \quad (5.6)$$

$$Q_v = 33,4 \cdot (3342 - 746)$$

$$Q_v = 86\,524[\text{kW}]$$

$$Q_v = 86,52 [\text{MW}]$$

Kde:

M_{pp} - množství přehřáté páry

i_{pp} - entalpie přehřáté páry

i_{nv} - entalpie napájecí vody

5.7.2 Entalpie přehřáté páry a napájecí vody

Entalpie jsou stanoveny pomocí programu ESS.

	Teplota [°C]	Tlak [MPa]	Entalpie [kJ · kg ⁻¹]
Entalpie přehřáté páry - i_{pp}	545	9,3	3497
Entalpie napájecí vody - i_{NV}	210	10,3	746

tab. 5.1 – hodnoty entalpií pro dané parametry

5.7.3 Množství paliva

Potřebný příkon při účinnosti $\eta_k \Rightarrow 85,4 \%$

$$Q_{pri} = \frac{Q_v}{Q_p^p \cdot \frac{\eta_k}{100}} [\text{kg/s}]$$

$$M_p = \frac{Q_v}{Q_p^p \cdot \frac{\eta_k}{100}} [\text{kg/s}]$$

$$M_p = \frac{86524,68}{18631,46 \cdot \frac{85,4}{100}}$$

$$M_p = 5,43 [\text{kg/s}] \rightarrow 19,548 [\text{t/h}]$$

Kde:

Q_v - výrobní teplo páry

Q_p^p - teplo přivedené do kotle jedním kilogramem paliva

η_k - účinnost kotle

6. BILANČNÍ VÝPOČET MLÝNSKÉHO OKRUHU

Základní bilanční výpočty mlýnského okruhu s mezibunkrováním uhelného prášku je prováděn pro teploty 300°C, 350°C a 400°C sušícího media. Výpočet je názorně proveden pouze pro jednu teplotu, zbylé hodnoty jsou shrnuty v tabulce výsledků.

6.1 Vstupní a výstupní hodnoty pro výpočet

Sušící medium

Druh	Spaliny
Teplota výpočtová	300°C
$C_{\text{spal}}(300^\circ\text{C})$	1,40475 [kJ.kg ⁻¹ .K ⁻¹] (měrná tepelná kapacita spalin)

Složení paliva

- Palivo pro výpočet mlýnského okruhu na vstupu do mlýna:

Druh	Ostravský proplástek
Výhřevnost	17,00 MJ .kg ⁻¹
Obsah popela v sušině A ^d	40 %
Prchavý podíl hořlaviny V ^{daf}	27 %
Obsah vody	10 %
Teplota na vstupu	15°C

- Výstupní palivo z mlýna:

Druh	Směs uhelného prášku s nosným médiem
Teplota na výstupu	90 [°C]
$C_{\text{vzd}}(90^\circ\text{C})$	(měrná tepelná kapacita vzduchu) 1,011 [kJ.kg ⁻¹ .K ⁻¹]

6.2 Výchozí rovnice tepelné bilance

$$q_{s0} + q_{u0} + q_m - q_w - q_{s1} - q_{u1} - q_z = 0 \quad [\text{kJ.kg}^{-1}] \quad (6.1)$$

kde:

q_{s0} Citelné teplo spalin na vstupu do mlýna [kJ.kg⁻¹]

q_{u0}	Citelné teplo surového uhlí na vstupu do mlýna [$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$]
q_m	Teplo vzniklé třením – podíl mlecí práce přeměněné v teplo [$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$]
q_w	Teplo potřebné na vysušení vody [$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$]
q_{s1}	Citelné teplo spalin na výstupu z mlýna [$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$]
q_{u1}	Citelné teplo uhelného prášku na výstupu z mlýna [$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$]
q_z	Tepelná ztráta mlýna [$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$]

Dosazením do rovnice tepelné bilance a následným výpočtem dostaneme množství spalin, které je potřebné k vysušení jednoho kilogramu surového uhlí.

6.3 Měrná tepelná kapacita spalin při vstupu do mlýna

K určení měrné tepelné kapacity spalin při různých teplotách použijeme tabulku z literatury [4], kde jsou uvedeny měrné tepelné kapacity jednotlivých složek spalin pro určité teploty. Pro zpřesnění výsledku hodnoty interpolujeme pro danou teplotu.

$$C_{s0} = C_{\text{SCO}_2} \cdot \text{CO}_2 + C_{\text{SH}_2\text{O}} \cdot \text{H}_2\text{O} + C_{\text{SSO}_2} \cdot \text{SO}_2 + C_{\text{SO}_2} \cdot \text{O}_2 + C_{\text{SN}_2} \cdot \text{N}_2 \quad [\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \text{K}^{-1}] \quad (6.2)$$

$$C_{s0} = 1,862 \cdot 0,251 + 1,542 \cdot 0,132 + 2,001 \cdot 0,0179 + 1356 \cdot 0,0532 + 1,306 \cdot 0,9658$$

$$C_{s0} = 1,4047 [\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$$

Kde:

C_s - Stanovená měrná tepelná kapacita dané látky ve spalinách

$\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}, \text{SO}_2, \text{O}_2, \text{N}_2$ - Procentuální zastoupení dané látky ve spalinách

6.4 Měrná tepelná kapacita uhlí na vstupu do mlýna

Měrnou tepelnou kapacitu uhlí vypočítáme, ze známého prvkového složení surového uhlí dle následujících rovnic.

$$c_u = c_h \cdot h + c_A \cdot A + c_w \cdot W \quad [\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \text{K}^{-1}] \quad (6.3)$$

$$c_u = 1,0604 \cdot 0,55 + 0,7175 \cdot 0,35 + 4,19 \cdot 0,1$$

$$c_u = 1,253 [\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \text{K}^{-1}]$$

6.4.1 Měrná tepelná kapacita hořlaviny na vstupu

$$c_h = 0,84 + 3,8 \cdot 10^{-3} \cdot (0,13 + V^{daf}) \cdot (130 + t_h) \quad [\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \text{K}^{-1}] \quad (6.4)$$

$$c_h = 0,84 + 3,8 \cdot 10^{-3} \cdot (0,13 + 0,27) \cdot (130 + 15)$$

$$c_h = 1,0604 [\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \text{K}^{-1}]$$

kde:

$c_h(^{\circ}\text{C})$ Měrná tepelná kapacita hořlaviny na vstupu $[\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \text{K}^{-1}]$

V^{daf} Podíl prchavých složek v celkovém obsahu hořlaviny [%]

t_h Aktuální teplota hořlaviny (uhlí) na vstupu $[^{\circ}\text{C}]$

6.4.2 Měrná tepelná kapacita popeloviny na vstupu

$$c_A = 0,5 \cdot \left(1,42 + \frac{t_A}{1000} \right) \quad [\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \text{K}^{-1}] \quad (6.5)$$

$$c_A = 0,5 \cdot \left(1,42 + \frac{15}{1000} \right)$$

$$c_A = 0,7175 [\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \text{K}^{-1}]$$

kde:

$c_A(^{\circ}\text{C})$ Měrná tepelná kapacita popeloviny při dané teplotě [$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \text{K}^{-1}$]

t_A Aktuální teplota popeloviny (uhlí) [$^{\circ}\text{C}$]

6.5 Měrná tepelná kapacita uhlí na výstupu z mlýna

Měrnou tepelnou kapacitu uhlí vypočítáme, ze známého prvkového složení surového uhlí dle následujících rovnic.

$$c_u = c_h \cdot h + c_A \cdot A + c_w \cdot W \quad [\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \text{K}^{-1}] \quad (6.6)$$

$$c_u = 1,0604 \cdot 0,601 + 0,383 \cdot 0,35 + 4,19 \cdot 0,015$$

$$c_u = 1,0589 [\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \text{K}^{-1}]$$

6.5.1 Měrná tepelná kapacita hořlaviny na výstupu

$$c_h = 0,84 + 3,8 \cdot 10^{-3} \cdot (0,13 + V^{daf}) \cdot (130 + t_h) \quad [\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \text{K}^{-1}] \quad (6.7)$$

$$c_h = 0,84 + 3,8 \cdot 10^{-3} \cdot (0,13 + 0,27) \cdot (130 + 90)$$

$$c_h = 1,1744 [\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \text{K}^{-1}]$$

kde:

$c_h(^{\circ}\text{C})$ Měrná tepelná kapacita hořlaviny na vstupu [$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \text{K}^{-1}$]

V^{daf} Podíl prchavých složek v celkovém obsahu hořlaviny [%]

t_h Aktuální teplota hořlaviny (uhlí) na vstupu [$^{\circ}\text{C}$]

6.5.2 Měrná tepelná kapacita popeloviny na výstupu

$$c_A = 0,5 \cdot \left(1,42 + \frac{t_A}{1000} \right) \quad [\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \text{K}^{-1}] \quad (6.8)$$

$$c_A = 0,5 \cdot \left(1,42 + \frac{90}{1000} \right)$$

$$c_A = 0,755 \text{ [KJ} \cdot \text{kg}^{-1} \text{K}^{-1}]$$

kde:

$c_A(^{\circ}\text{C})$ Měrná tepelná kapacita popeloviny při dané teplotě [$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \text{K}^{-1}$]

t_A Aktuální teplota popeloviny (uhlí)

6.5.3 Přepočet složení uhlí po vysušení

Zmenšením vodního podílu v uhlí musí narůst podíly popeloviny a hořlaviny ve vysušeném uhlí. Požadovaná výsledná vlhkost je 1,5%.

$$A_1 = A_0 \cdot \frac{1 - W_1}{1 - W_0} \quad [\%] \quad (6.9)$$

kde:

A_1 Obsah popelovin v uhlí po vysušení [%]

A_0 Původní obsah popelovin (15 %)

W_1 Požadovaná vlhkost uhlí po vysušení (1,5 %)

W_0 Výpočtová vlhkost surového uhlí na vstupu do mlýna (10 %)

$$A_1 = 0,35 \cdot \frac{1 - 0,015}{1 - 0,1}$$

$$\underline{A_1 = 0,38}$$

$$h_1 = 100 - A_1 - W_1 = 100 - 38 - 0,15 = \underline{61,85} \quad [\%] \quad (6.10)$$

kde:

h_1 Obsah hořlaviny v uhlí po vysušení [%]

6.6 Cítné teplo uhlí na vstupu

$$q_{u0} = c_{u0} \cdot t_{u0} \quad [\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (6.11)$$

$$q_{u0} = 1,2533 \cdot 15$$

$$q_{u0} = 18,8 [\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}]$$

kde:

q_{u0} Cítné teplo surového uhlí na vstupu $[\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}]$

c_{u0} Měrná tepelná kapacita uhlí na vstupu do mlýna $[\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$
(tato hodnota je níže vypočtena)

t_{u0} Teplota surového uhlí na vstupu ($t_{u0} = 15 \text{ }^{\circ}\text{C}$)

6.7 Teplo vzniklé třením – nevyužitím měrné mlecí práce mlýna

$$q_m = k_m \cdot \varepsilon_m \quad [\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (6.12)$$

$$q_m = 0,7 \cdot 65$$

$$q_m = 45,5 [\text{kJ}/\text{kg}]$$

kde:

q_m Teplo vzniklé třením $[\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}]$

ε_m Mlecí práce mlýna volena dle literatury [4] pro trubnatý mlýn
65 $[\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}]$

k_m Koeficient přeměny mlecí práce v teplo pro trubnatý mlýn 0,7 [1]

6.8 Teplo potřebné na vysušení vody

$$q_w = \frac{W_0 - W_1}{1 - W_1} \cdot (C_w \cdot (t_{s1} - t_{u0}) + l_w) \quad [\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (6.13)$$

$$q_w = \frac{0,1 - 0,015}{1 - 0,015} \cdot (4,19 \cdot (90 - 15) + 2257)$$

$$q_w = 221,88 \text{ [kJ} \cdot \text{kg}^{-1}\text{]}$$

kde:

q_w Teplota potřebné na vysušení vody [$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$]

t_{s1} Teplota výstupní směsi ($t_{s1} = 90^\circ\text{C}$)

t_{u0} Teplota uhlí a vody v něm obsažené na vstupu ($t_{u0} = 15^\circ\text{C}$)

l_w Výparné teplo vody ($l_w = 2257 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$)

6.9 Cítné teplo uhlí na výstupu ze mlýna

$$q_{u1} = (1 - W_0) \cdot \left(C_{u1} + \frac{W_1 \cdot c_w}{1 - W_1} \right) \cdot t_{u1} \quad [\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (6.14)$$

$$q_{u1} = (1 - 0,1) \cdot \left(1,0589 + \frac{0,015 \cdot 4,19}{1 - 0,015} \right) \cdot 90$$

$$q_{u1} = 90,94 \text{ [kJ} \cdot \text{kg}^{-1}\text{]}$$

kde:

q_{u1} Cítné teplo uhlí na výstupu [$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$]

c_{u1} Měrná tepelná kapacita uhlí na výstupu z mlýna

$$c_{u1} = c_{u(90^\circ\text{C})} = 1,0589 \text{ [kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}\text{]}$$

t_{u1} Teplota uhlí na výstupu z mlýna ($t_{u1} = 90^\circ\text{C}$)

6.10 Cítné teplo sušícího média na vstupu (vztaženo na 1 kg paliva)

$$q_{s0} = t_{s0} \cdot c_{s0} \cdot y_s \quad [\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (6.15)$$

kde:

q_{s0} Citelné teplo spalin na vstupu [$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$]

t_{s0} Teplota spalin na vstupu ($t_{s0} = 300 \text{ }^{\circ}\text{C}$)

c_{s0} Měrná tepelná kapacita spalin na vstupu do mlýna
(měrná tepelná kapacita spalin o teplotě $t_{s0} = 300 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
 $c_{s0(300^{\circ}\text{C})} = 1,4047 \text{ [kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$)

y_s Množství spalin potřebné pro vysušení 1 kg paliva. Tuto hodnotu vyjádříme z rovnice po dosazení všech hodnot, které vypočteme.

6.11 Citelné teplo nosného média na výstupu

$$q_{s1} = y_s \cdot c_{s1} \cdot t_{s1} \quad [\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (6.17)$$

kde:

q_{s1} Citelné teplo nosného média na výstupu [$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$]

c_{s1} Měrná tepelná kapacita spalin na výstupu ze mlýna
(měrná tepelná kapacita spalin o teplotě $t_{s1} = 90^{\circ}\text{C}$;
 $c_{s1(90^{\circ}\text{C})} = 1,3693 \text{ [kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$)

t_{s1} Teplota spalin na výstupu ($t_{s1} = 90 \text{ }^{\circ}\text{C}$)

y_s Množství spalin potřebné pro vysušení 1 kg paliva. Tuto hodnotu vyjádříme z rovnice po dosazení všech hodnot, které vypočteme.

6.12 Tepelná ztráta mlýna

$$q_z = k_z \cdot q_{s0} \quad [\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (6.18)$$

kde:

q_z Tepelná ztráta mlýna na jeden kilogram uhlí [$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$]

k_z Koeficient tepelné ztráty mlýna (0,05 – 0,15)

q_{s0} Citelné teplo sušícího média na vstupu [$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$]

6.13 Množství spalin potřebné k vysušení 1 kg paliva

$$y_s = \frac{q_w + q_{u1} - q_{u0} - q_m}{[(1 - k_z) \cdot (c_{s0} \cdot t_{s0})] - (c_{s1} \cdot t_{s1})} \quad [\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (6.19)$$

$$y_s = \frac{221,884 + 90,94 - 18,8 - 45,5}{[(1 - 0,15) \cdot (1,4047 \cdot 300)] - (1,058 \cdot 90)}$$

$$y_s = 0,9453 \text{ [kg/kg]}$$

Vypočtené rovnice jsme dosadili do základního vztahu a provedli výpočet množství spalin potřebného k vysušení 1 kg paliva.

6.14 Přepočet na objemový průtok spalin

Vypočtený hmotnostní průtok sušícího média, který povede k požadovanému vysušení uhlí na obsah vody 1,5%. Jednotka $\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ je pro vzdušinu vhodnější než jednotka $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$. Pro přepočet hmotnostního na objemový průtok je použita stavová rovnice.

$$p \cdot V = m \cdot r \cdot T \quad [\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}_{\text{pal}}] \quad (6.20)$$

$$V = \frac{m \cdot r \cdot T}{p} = \frac{0,9453 \cdot 287 \cdot 573}{108000}$$

$$V = 1,4423 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}_{\text{pal}} \quad \text{při teplotě } 300^\circ\text{C}$$

kde:

p Tlak sušícího média na vstupu do mlýna ($p = 108\,000 \text{ Pa}$)

V Objemový průtok sušícího média [$\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$]

m Hmotnostní průtok sušícího média [$\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$]

r Měrná plynová konstanta vzduchu ($r = 287 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)

T Teplota sušícího vzduchu na vstupu ($t = 300^\circ\text{C}$)

Pro vyvození požadovaného sušicího účinku je tedy potřeba přivést do mlýna $1,4423 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}_{\text{pal}}$ sušicího vzduchu o teplotě 300°C na jeden kilogram surového uhlí. Tento přívod sušicího vzduchu nám zajistí vysušení zadaného uhlí z 10% vody na výstupní 1,5% vody.

6.15 Celkové množství sušicího media při jmenovitém výkonu kotle

Potřeba kotle při vypočtené účinnosti kotle, výpočtové výhřevnosti paliva a jmenovitém výkonu kotle je $5,43 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \Rightarrow 19,548 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$.

Kotel je vybaven dvěma mlýny o jmenovitém výkonu $18,5 \text{ t/h}$ surového paliva.

Pro dimenzování mlýna se zpravidla uvažuje využití mlecího zařízení z 60% celkové možné provozní doby mlecího zařízení. Proto je kotel vybaven dvěma mlýny.

$$m_C = V \cdot P_{ml} \quad [\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}] \quad (6.21)$$

$$m_C = 1,4567 \cdot 18500$$

$$m_C = 26220 [\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}], \text{ při teplotě } 300^\circ\text{C}$$

kde

P_{ml} je výkon mlýna

m_C — je teoretické hodinové množství spalin pro sušení a mletí paliva pro jeden mlýn.

6.16 Provedené výpočty pro různé teploty sušících spalin

**Objem spalin potřebný k vysušení 1 kg paliva
při různých teplotách**

teplota	objem spalin	Celkový objem spalin
$^\circ\text{C}$	$\text{m}^3_{\text{N}} \cdot \text{kg}^{-1}$	$\text{m}^3_{\text{N}} \cdot \text{s}^{-1}$
300	1,456770628	7,444

350	1,213448317	6,208
400	1,077549947	5,518
434	1,011838623	5,181
Tab. č. 6.1		

7. VÝSLEDKY MĚŘENÍ NA MLECÍM ZAŘÍZENÍ

7.1 Popis měřících míst

Měření probíhalo na mlýnském okruhu pro kotel K1 a to na mlýnech ML 11 a ML12.

V průběhu měření byla měřena koncentrace kyslíku a CO ve spalínách na vstupu do mlýnského okruhu. Měřicí místo bylo v místě, kde jsou nasávány spaliny pro sušení v mlýnském okruhu. Měření bylo provedeno bodově uprostřed nasávacího kanálu spalin. Pro odsátí byla použita ocelová nerezová trubka o průměru 10x1mm a délce cca 1m napojená hadicí na těsný ventilátor. Z ventilátoru byl vzorek spalin dopraven do odběrového vaku o objemu cca 20 l. V průběhu měření byly vzorky spalin odsáty 3x. Koncentrace kyslíku byla stanovena v suchých spalínách.

Další vzorek vzdušiny v mlýnském okruhu byl odsát a měřen v místě sání mlýnského ventilátoru. Současně byla v obou místech měřena teplota spalin. Teplota byla měřena termočlánkem Ni- NiCr typu „K“ napojeným na digitální teploměr ALMEMO 2690-8A. Koncentrace kyslíku a oxidu uhelnatého byla měřena analyzátozem firmy SERVOMEX.

7.2 Naměřené hodnoty

Výstupu spalin z kotle do mlýnského okruhu				Výstupu spalin z kotle do mlýnského okruhu			
K1	Mlýn 12			K1	Mlýn 11		
12:45	O2	CO	t	12:45	O2	CO	t
	[%]	[ppm]	[°C]		[%]	[ppm]	[°C]
1	10,6	46,1	443	1	11,3	73,1	443
2	10,6	43		2	11,1	74,8	

3	10,6	39,3		3	11,1	73,9
Průměr	10,6	42,8		Průměr	11,2	73,9

Sání mlýn. ventilátorů				Sání mlýn. ventilátorů			
K1	Mlýn 12			K1	Mlýn 11		
13:10	O2	CO	t	14:05	O2	CO	t
	[%]	[ppm]	[°C]		[%]	[ppm]	[°C]
1	13,5	42,5	96	1	12,3	64,1	89
2	13,6	42		2	12,5	58	
3	13,9	39		3	12,3	52	
Průměr	13,7	41,2		Průměr	12,4	58,0	

Tab. č. 7.1 - naměřené hodnoty

7.3 Vyhodnocení výsledků

Z naměřené koncentrace kyslíku ve spalínách na vstupu do mlýnského okruhu a v sání mlýnského ventilátoru byl přepočítán objem suchých spalín a tento výpočet byl následně přepočten na vlhké spaliny, kde se přičetla vlhkost odpařená sušením surového uhlí ve mlýně. Objem této vlhkosti byl vypočten z prvkového rozboru paliva a z vlhkosti surového paliva před mletím a vlhkosti odebraného uhelného prášku. Surové uhlí bylo odebíráno z talířového podavače a uhelný prášek ze zásobníku uhelného prášku.

Jak udává norma ČSN EN 12952-9, ovzduší se pro účely ochrany proti výbuchu považují za inertní, jestliže nelze zapálit směs práškového paliva a vzduchu. Za normálních atmosférických podmínek je mezní objemová koncentrace kyslíku u černého uhlí 14% ve vlhkých podmínkách. Z důvodu bezpečnosti norma stanoví mezní koncentrace pro černé uhlí 12%. [7]

Sání spalín z kanálu spalín na výstupu z kotle do mlýnského okruhu		
	Suché spaliny s měřenou koncentrací O2	Vlhké spaliny s měřenou koncentrací CO2
%CO2	16,44	14,809

%H ₂ O	0	9,971
%SO ₂	0,109	0,098
%O ₂	10,6	9,54
%N ₂	72,003	64,82
%Ar	0,83	0,753

tab. č. 7.2 - výsledky měření

	Suché spaliny s měřenou koncentrací O ₂	Vlhké spaliny s vlhkostí z uhlého prášku a měřenou koncentrací CO ₂
%CO ₂	16,005	12,74
%H ₂ O	0	20,4
%SO ₂	0,1062	0,0845
%O ₂	13,02	10,361
%N ₂	70,057	55,765
%Ar	0,811	0,648

tab. č. 7.3 - výsledky měření

Měřicí zařízení v teplárně Přerov zaznamenalo objemový průtok brýd 5,6 - 5,4 m³/s což dle výkonu mlýna 5,138 kg/s (18,5 t/h) odpovídá 1,07 m³ spalin k vysušení 1 kg surového paliva při teplotě 434 °C.

8. NÁVRH ÚPRAV MLÝNSKÉHO OKRUHU

Měřením bylo zjištěno, že mlýnský okruh je z hlediska atmosféry ve mlýně provozován v souladu s ČSN-EN 12952-9. To znamená, že koncentrace kyslíku v nosné vzdušině nepřekročila 12% ve vlhkých spalinách. Naměřená hodnota O₂ v suchých spalinách byla 13,02%, po přepočtu na mokré spaliny byla koncentrace 10,36 %. Přesto lze předpokládat, že při nízkém výkonu kotle a v přechodových stavech kotle může za provozu dojít k překročení hodnoty 12%.

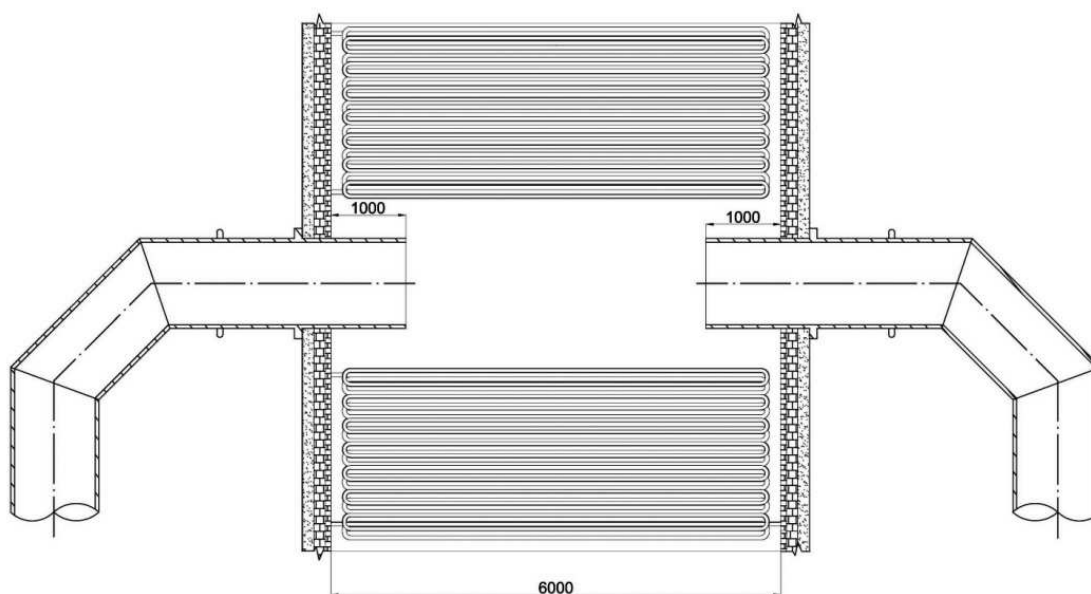
Z naměřených výsledků koncentrace kyslíku ve spalinách na vstupu do mlýnského okruhu vyplývá, že na začátku III. tahu kotle je koncentrace kyslíku ve spalinách nasávaných do mlýnského okruhu 10%. Tato hodnota byla naměřena při výkonu kotle

80 až 85 t/h páry. Lze předpokládat, že tato hodnota může při nižším výkonu kotle vzrůst na hodnotu 11 až 12% O_2 a za tohoto stavu dojde ve vlhkých spalínách na konci mlýnského okruhu k překročení normativní hodnoty 12% kyslíku.

Z hodnoty 10% kyslíku ve spalínách na začátku III. tahu je patrné, že tato hodnota je nepřiměřeně vysoká a svědčí o přísávání falešného vzduchu v oblasti nasávání spalín do mlýnského okruhu. Vyšší koncentrace kyslíku v nasávaných spalínách je dána konstrukcí kotle a pravděpodobně i netěsností zaústění sacího kanálu spalín do III. tahu kotle. Jednoznačnou příčinu vyšší koncentrace kyslíku je možno stanovit podrobnějším měřením složení spalín v místě nasávání spalín ve III. tahu kotle. Před jakoukoliv rekonstrukcí by bylo vhodné proměřit podrobně koncentrační pole ve III. tahu kotle v oblasti nasávání spalín. Pro měření bude vhodné použít měřicí otvory v kolenech obou sacích kanálů a proměřit složení spalín ve vlastním kanálu a dále hlouběji ve III. tahu kotle zejména u horní části nasávacího kanálu (spaliny proudí shora dolů).

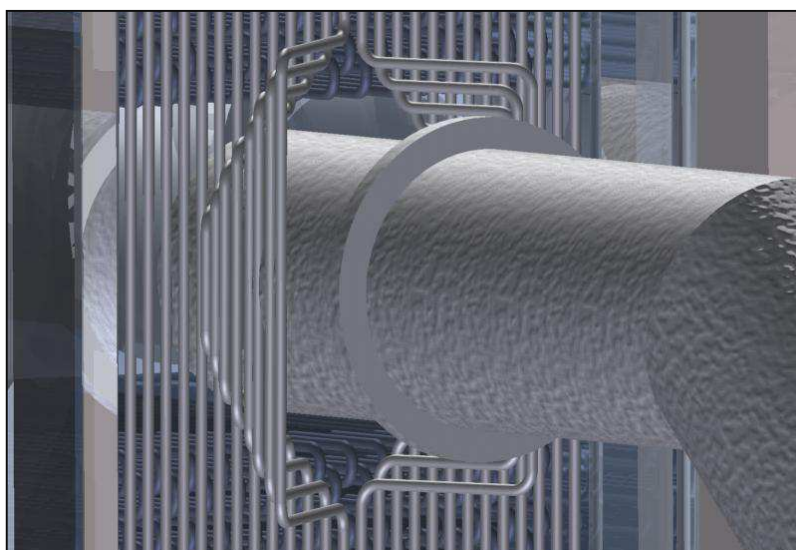
Každopádně lze očekávat, že blízko stěny III. tahu kotle tvořeného stěnovým přehřívákem bude již od spalovací komory a II. tahu kotle vyšší koncentrace O_2 , než odpovídá průměrné koncentraci v daném horizontálním průřezu kotle. Za tohoto stavu je pro snížení koncentrace O_2 ve spalínách nasávaných do mlýnského okruhu jediná možnost, prodloužit nasávací kanály spalín dovnitř do III. tahu kotle.

Úprava spočívá v prodloužení obou nasávacích kanálů směrem dovnitř kotle v délce cca 1 m od vnitřní stěny kotle (Obr 8.1). Lze očekávat snížení koncentrace kyslíku v nasávaných spalínách cca o 2 až 3%.



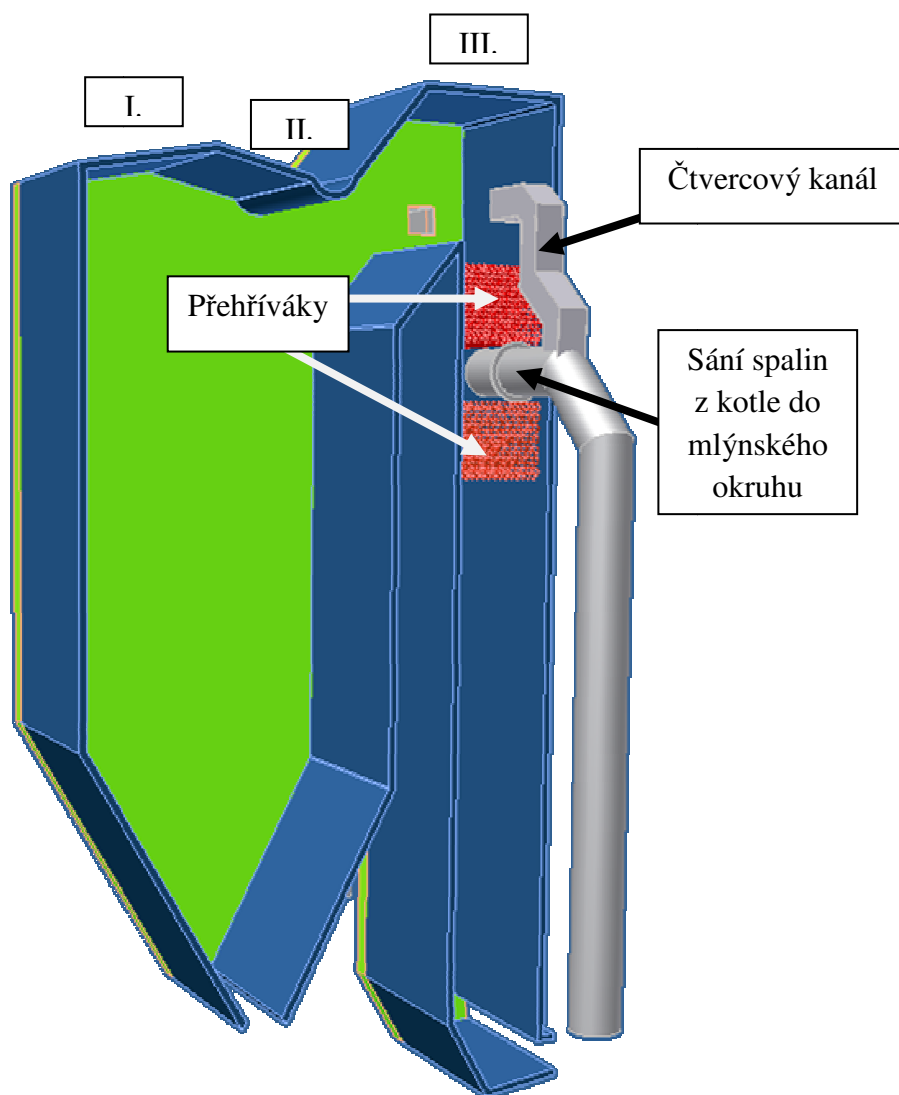
Obr 8.1 - Schematické znázornění úpravy nasávacího potrubí spalin

V místě nasávání spalin (Obr 8.3) je teplota spalin cca 500 až 600°C a pravděpodobně nebude nutné používat horní čtvercový nasávací kanál, který byl na kotli instalován dodatečně. V případě vyšší teploty sušícího média na vstupu do mlýna bude postačovat regulace teploty za třídičem recirkulací spalin z mlýna.

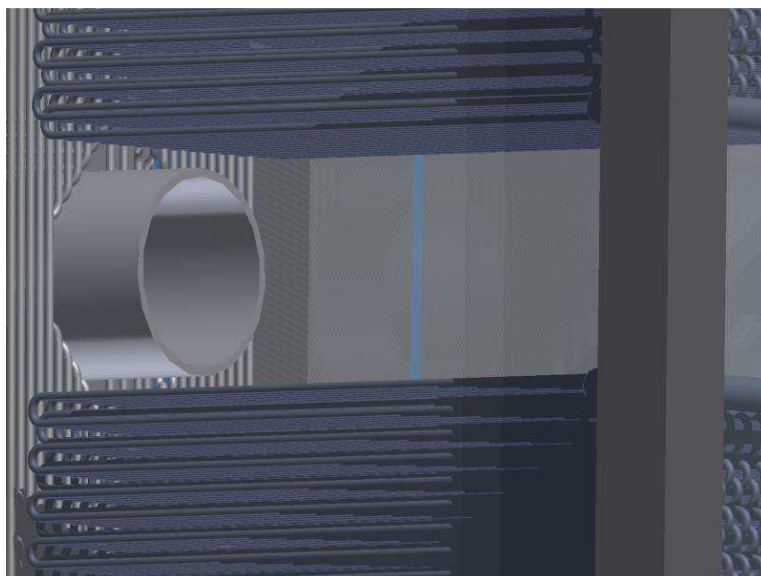


Obr. 8.2 - Provedení instalace potrubí na stěnovém přehříváku

Zvýšenou pozornost bude třeba věnovat ochraně trubek konvekčního přehříváku proti abrazi. Jako ochranu proti abrazi lze navrhnout instalaci "falešné" řady trubek. Jiné řešení spočívá v osazení trubek první řady přehříváku, polovičními profily trubek, které se k přehříváku připevní pomocí kovových objímek. Další problém, který nastane vsunutím sací trubky do útrob třetího tahu, je způsoben stěnovým přehřívákem. Tento problém lze řešit vybočením jednotlivých trubek stěnového přehříváku (obr 8.3, 8.4) tak aby bylo možno trubku posunout směrem k místu, kde bude nasávat spaliny s nižší koncentrací kyslíku. Úprava mlýnského okruhu se provádí z důvodu snížení koncentrace O_2 v nosném médiu (brýdách).



Obr 8.3 - Schéma kotle K1 s nasávacím potrubím spalin



Obr. 8.4 - Pohled z vnitřní strany kotle na prodloužené spalínové potrubí

9. ZÁVĚR

Zadáním diplomové práce bylo zlepšení parametrů mlýnského okruhu pro kotle K1 v Teplárně Přerov. Výpočtem a následným měřením bylo ověřeno, že mlýnský okruh je ve vyhovujícím stavu. Jemnost mletí dle sdělení vedení Teplárny Přerov je na úrovni zbytku na sítu 90 μm cca 25 až 28% a zbytek na sítu 0,2 mm je pod 0,5 %. Za tohoto stavu jsou třídiče mlýna v pořádku a není potřeba tyto parametry měnit.

Při měření složení spalin v mlýnském okruhu byla zjištěna koncentrace kyslíku ve vlhkých spalinách na vstupu do mlýnského ventilátoru 11,5%. Tato hodnota je v souladu s ČSN- EN 12952-9, kde je uváděna maximální hodnota 12%. Lze však odhadnout, že při nízkých výkonech kotle a při přechodových stavech může koncentrace kyslíku přesáhnout hodnotu 12% ve vlhkých spalinách a bude vhodné tento stav řešit.

Návrhem diplomové práce je úprava nasávacích kanálů mlýnských okruhů jejich prodloužením do III. tahu kotle z pravé a levé strany pro oba mlýnské okruhy. Zároveň bude vhodné zlikvidovat dodatečně instalované nasávací kanály v horní části III. tahu kotle. Řešení nelze hodnotit jako jednoznačné a bezproblémové, protože instalací velkých nasávacích kanálů nad konvekčním přehřívákem dojde k ovlivnění rychlostního a zejména koncentračního pole popílku ve III. tahu kotle. Z tohoto důvodu je potřeba vyřešit i ochranu trubek proti abrazi.

Snížení koncentrace kyslíku v nasávaných spalinách do mlýnského okruhu dojde k zlepšení parametrů nosného média v mlýnském okruhu. Zlepší se výkon mlýna zejména při mletí vlhkého paliva při vyšších venkovních dešťových srážkách a dojde k navýšení účinnosti kotle, protože se sníží množství přisávaného falešného vzduchu do kotle. Tím dojde k vyššímu využití ohříváku vzduchu a snížení teploty spalin do komína.

10.LITERATURA

- [1] ČERNÝ, Václav. *Parní kotle a spalovací zařízení* 1. vyd. Praha: SNTL, 1975, 526, [1] s. Řada strojírenské literatury.
- [2] KOLAT, Pavel. *Přenos tepla a hmoty*. 3. vyd. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 2001, 266 s.
- [3] ON 074017 Tepelný výpočet parních kotlů.
- [4] DLOUHÝ, Tomáš. *Výpočty kotlů a spalínových výměníků*. Vyd. 3. V Praze: Nakladatelství ČVUT, 2007, c1999, 212 s. ISBN 978-80-01-03757-7.
- [5] Podklady a materiály katedry energetiky pro Teplárnu Přerov.
- [6] BALÁŠ, Marek. *Kotle a výměníky tepla*. Vyd. 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013, 119 s. ISBN 978-80-214-4770-7.
- [7] ČSN EN 12952-9. *Vodotrubné kotle a pomocná zařízení: Část 9: Požadavky na spalovací zařízení kotlů na prášková paliva*. 2003. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT.

11.PŘÍLOHY

- A- Výkresová dokumentace Mlýnského okruhu
- B- Výkresová dokumentace Kotle K1
- C- Prvkový rozbor paliva
- D- Fotografie měřících míst
- E- Diplomová práce a výkresová dokumentace v elektronické podobě.

Fotografie Měřících míst



Obr. 11.1 – Sání v mlýnském ventilátoru, odběr spalin do mlýnského okruhu